



Escola Politècnica Superior
d'Enginyeria de Vilanova i la Geltrú

UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE CATALUNYA

TRABAJO FINAL DE GRADO (MEMORIA)

TITULO: DISEÑO DE UN CONTENEDOR COMPACTADOR DE ENVASES

AUTORES: ABASSÓ VAN DEN BERG, XAVIER
AROCO FAURIA, DAVID
OLIVELLA INSENSÉ, MARC

FECHA: OCTUBRE DE 2018

APELLIDOS:	ABASSÓ VAN DE BERG	NOMBRE:	XAVIER
TITULACIÓN:	GRADO DE INGENIERIA ELECTRÓNICA		
PLAN:	2014		
DIRECTOR:	BLANQUÉ MOLINA, BALDUINO		
DEPARTAMENTO:	INGENIERÍA ELÉCTRICA		

APELLIDOS:	AROCO FAURIA	NOMBRE:	DAVID
TITULACIÓN:	GRADO DE INGENIERÍA MECÁNICA		
PLAN:	2014		
DIRECTOR:	BLANQUÉ MOLINA, BALDUINO		
DEPARTAMENTO:	INGENIERÍA ELÉCTRICA		

APELLIDOS:	OLIVELLA INSENSÉ	NOMBRE:	MARC
TITULACIÓN:	GRADO DE INGENIERÍA MECÁNICA		
PLAN:	2014		
DIRECTOR:	BLANQUÉ MOLINA, BALDUINO		
DEPARTAMENTO:	INGENIERÍA ELÉCTRICA		

QUALIFICACIÓN DEL TFG

TRIBUNAL

PRESIDENTE

SECRETARIO

VOCAL

FECHA DE LECTURA: 24/10/2018

Este proyecto tiene en cuenta aspectos medioambientales: ☐ **Sí** ☐ **No**

RESUMEN

En este proyecto se presenta el proceso para diseñar un contenedor compactador de envases para un ámbito doméstico.

En primer lugar, se realiza una breve introducción histórica al proceso de reciclaje de envases. Seguidamente se analiza la situación mundial actual para comprender la problemática del reciclaje de envases y la importancia de encontrar soluciones que mitiguen el problema de la contaminación. Posteriormente, se presenta un estudio de mercado de las soluciones actuales al compactado de envases en diferentes ámbitos y para distintas aplicaciones. Por último, en esta primera parte, se exponen los resultados de una encuesta realizada a potenciales usuarios.

En segundo lugar, se procede al estudio empírico de las fuerzas y solicitudes que deberá superar el mecanismo para compactar los envases críticos. Una vez obtenidos los datos, se decide el mecanismo más adecuado para la aplicación que se trata teniendo en cuenta los requerimientos de la máquina y las solicitudes que sufrirá el mecanismo. Se realiza un prototipo no funcional del producto para obtener *feedback* de aspectos que solo se pueden obtener con un prototipo físico.

A continuación, tras una definición de las partes del mecanismo, se realiza el diseño mecánico del contenedor. Este comprende el estudio, diseño y dimensionado tanto de la estructura del contenedor como del mecanismo interno.

Paralelamente al diseño mecánico se realiza el diseño del sistema electrónico que deberá controlar los sensores del contenedor tales como el nivel de llenado, posibles problemas durante el compactado o los sensores encargados de la seguridad. Se incluye el control del motor eléctrico.

Se expone la relación directa del proyecto con la conservación del medio ambiente, aportando datos y justificaciones de las soluciones a esta problemática.

Finalmente se exponen las conclusiones y análisis finales del proyecto, además de las líneas de trabajo futuras.

Palabras clave (máximo 10):

Contenedor	Envases	Mecanismo	Motor eléctrico
Compactador	Diseño	Reciclaje	Electrónica
Prensa	Arduino		

RESUM

En aquest projecte es presenta el procés pel disseny d'un contenidor compactador d'envasos per a l'àmbit domèstic.

En primer lloc, es realitza una breu introducció històrica al procés del reciclatge d'envasos. Seguidament, s'analitza la situació mundial actual per comprendre el problema que suposa del reciclatge d'envasos i la importància de trobar solucions que redueixin el problema de la contaminació. Posteriorment, es presenta un estudi de mercat de les solucions existents en el compactat d'envasos en diferents àmbits i per diverses aplicacions. Per finalitzar aquesta primera part, s'exposen els resultats d'una enquesta realitzada a potencials usuaris.

En segon lloc, es procedeix a l'estudi empíric de les forces i sol·licitacions que rebrà el mecanisme al compactar els envasos més crítics. Un cop obtingudes les dades, es decideix el mecanisme més adequat per l'aplicació que es tracta tenint en compte els requeriments del producte y les sol·licitacions que sofrirà el mecanisme. Es realitza un prototip no funcional del producte per obtenir *feedback* d'aspectes que només es poden obtenir amb un prototip físic.

A continuació, després de definir les parts del mecanisme, s'inicia el disseny mecànic del contenidor. Aquest compren l'estudi, disseny i dimensionament tant de l'estructura del contenidor com del mecanisme intern.

Paral·lelament al disseny mecànic es realitza també el disseny del sistema electrònic que deurà controlar els sensors del contenidor, com pot ser el sensor d'ompliment, sensors que detectin problemes interns o els sensors de seguretat. S'inclou el control del motor elèctric també.

S'exposa la relació directa del projecte amb la conservació del medi ambient, aportant dades i justificacions de les solucions a aquesta problemàtica.

Finalment es presenten les conclusions i anàlisis finals del projecte, a més a més, s'aporten diverses línies futures de treball.

Paraules clau (màxim 10):

Contenidor	Envasos	Mecanisme	Motor elèctric
Compactador	Disseny	Reciclatge	Electrònica
Prensa	Arduino		

ABSTRACT

In this project we present the process to design a packaging compactor container for domestic places.

First, there is a brief historical introduction to the process of recycling packaging. Next, the current world situation is analyzed to understand the problem of the packaging accumulation and the importance of finding solutions that mitigate the pollution problem. Then, we present a market research of the current solutions for packaging compaction in different areas and for different applications. Finally, in this first chapter, the results of a survey made to potential users are exposed.

Secondly, we proceed to the empirical study of the forces and solicitations that must overcome the machine to compact all kinds of packaging. Then, the type of mechanism is decided from that data and considering the requirements of the machine and the demands that the mechanism will suffer. A non-functional prototype of the product is made for obtain feedback on aspects that can only be obtained with a physical prototype.

Then, after the definition of the parts of the machine, the mechanical design of the container is made. This includes the study, design and dimensioning of both the structure of the container and the internal components.

At the same time, the design of the electronic system is carried out, must control the sensors of the machine such as the filling level, possible problems during compaction or the sensors responsible for safety. The control of the electric motor is included.

At the end of the document, the direct relation of the project with the conservation of the environment is exposed, providing data and justification of the solutions to this problem.

Finally, the conclusions and final analyze of the project are presented, as well as the future lines of work.

Keywords (10 maximum):

Container	Packaging	Mechanism	Electric Motor
Compactor	Design	Recycling	Electronics
Press	Arduino		

APORTACIÓN INDIVIDUAL AL GRUPO

XAVIER ABASSÓ VAN DEN BERG

Mi aportación ha sido la búsqueda de información para redactar el estado del arte junto a mis compañeros, además de aportar y corregir términos de la introducción y ayudar en el prototipado para hacer los ensayos de fuerza para encontrar la fuerza necesaria para la compactación de los envases. También me he encargado de la parte electrónica, para la cual he tenido que estar en contacto con los compañeros de la especialidad de mecánica, intentando así conseguir que todos los componentes y código usado fuesen lo más idóneos para el proyecto que se estaba diseñando.

Además de lo mostrado en este documento, he tenido que buscar una gran cantidad de información de sensores y opciones para solucionar problemas que iban surgiendo a la hora de hacer el proyecto que finalmente no he acabado usando, pero que me han servido para aprender y tomar mejores elecciones. Un ejemplo de algún caso es el hecho de reducir los pines usados para los leds, para el cual he probado varias formas de multiplexación para con tecnología *ttl* o técnicas como el *charlieplexing*.

Además de la parte electrónica, me he encargado de la parte eléctrica del proyecto, diseñado el circuito de alimentación del contenedor y buscado la forma más segura de llevar a cabo el proyecto.

Para realizar la parte de control de los sensores he tenido que probar todos los sensores con sus respectivos códigos, además de hacer un ensayo con todos los sensores conectados y comprobando el funcionamiento de todos ellos a la vez.

Para asegurarme de que las decisiones tomadas para el control y la elección de los sensores era la mejor he tenido que ponerme en contacto con diversos profesores del departamento de ingeniería de control y de ingeniería eléctrica, sin olvidarme del personal de STL.

APORTACIÓN INDIVIDUAL AL GRUPO

DAVID AROCO FAURIA

Mi aportación individual comenzó, al igual que mis compañeros, en la búsqueda de información y referencias para la orientación del proyecto y el inicio del diseño del producto. Me encargué, en parte, de la redacción y difusión de la encuesta inicial a potenciales usuarios.

Junto a mis dos compañeros, hemos invertido un gran número de horas en la realización de los ensayos previos al diseño del producto en la universidad. Dichos ensayos, conllevaron un tiempo de recogida de envases y otro período de realización de los ensayos. Además, entre los tres, hemos realizado el prototipo no funcional hecho de madera también en las instalaciones de la universidad, el cual nos llevó bastantes horas realizarlo.

Junto a mi compañero del grado de ingeniería mecánica, nos hemos encargado mano a mano de la realización del todo el proceso del diseño mecánico del proyecto. Esta parte se recoge en el capítulo 2. También me encargué de la búsqueda de precios de los materiales estructurales del mecanismo para realizar el presupuesto del proyecto. Aunque este apartado lo hemos realizado en gran parte los dos estudiantes de mecánica, el compañero de electrónica también ha participado activamente al igual que nosotros en el apartado de electrónica.

He sido el encargado de la realización íntegra de la memoria. Cada estudiante ha redactado los apartados en los cuales trabajaba activamente, para distribuir la faena, pero yo me he encargado de la conjunción de todas las partes en una. Además, he redactado la introducción, conclusiones, el capítulo 4, las referencias, gran parte del capítulo 1 y 2, y he corregido los errores de redactado en la memoria antes de ser entregada.

El manual de usuario ha sido otra parte del proyecto de la que me he encargado yo mismo de realizarla. Siempre con ayuda de mis compañeros para consensuar el contenido y datos de este.

También ha sido función mía la realización del presupuesto del proyecto, aunque he necesitado ayuda de mis compañeros para obtener precios de todos los componentes que constituyen el producto.

Junto a mi compañero del grado de mecánica, he realizado algunos de los modelados en 3D, aunque la mayoría los ha realizado mi compañero. Yo me he encargado de la realización íntegra de los planos de fabricación. Esto conlleva las modificaciones en las piezas 3D para adaptarlas a los planos, las reuniones con el profesorado de Expresión Gráfica y, obviamente, la realización de estos siempre siguiendo las normativas previamente consultadas.

Por último, me he encargado de la recogida de fichas técnicas para su inclusión en los anexos del proyecto. También ha sido función mía ordenar y arreglar los anexos.

APORTACIÓN INDIVIDUAL AL GRUPO

MARC

Mi aportación ha sido la búsqueda de información sobre el estado del arte, la búsqueda de normativa relacionada con nuestro diseño y aportar información para la introducción. Durante la fase inicial del proyecto, también colabore en la realización de ensayos de compresión con envases, tanto usando las prensas de un laboratorio de la universidad, como con un prototipo hecho en madera que construimos nosotros.

Para el diseño del prototipo de madera para los ensayos, aporte ideas y bocetos sobre cómo debía ser y sobre cómo construirlo, aparte de colaborar activamente en su fabricación.

En cuanto al diseño del mecanismo final, en colaboración con mis dos compañeros de equipo, he realizado parte del diseño mecánico del mecanismo, así como en la búsqueda y comparación de los distintos husillos, guías lineales, casquillos y demás componentes usados.

Además de todo esto, también he colaborado en las reuniones semanales de equipo, aportando ideas y posibles soluciones a los problemas planteados a lo largo del proceso de gestación de este proyecto, así como aportando ideas y dando mi opinión en la toma de decisiones. También he mantenido varias reuniones, tanto individuales como colectivas, con nuestro tutor y con un profesor del departamento de mecánica.

Índice genérico

I. OBJETIVOS.....	1
II. MOTIVACIÓN	1
III. METODOLOGÍA	1
IV. ESTRUCTURA.....	1
V. ÍNDICE DE TABLAS	4
VI. ÍNDICE DE FIGURAS.....	5
VII. ÍNDICE DE FÓRMULAS.....	7
CAPÍTULO 1. ESTADO DEL ARTE	6
1.1. Problemática de los residuos urbanos	6
1.2. Situación actual del reciclado	7
1.3. Idea de producto	9
1.4. Análisis de los envases a compactar	10
1.5. Encuesta realizada a potenciales usuarios	11
1.5.1. Resultados	13
1.6. Análisis de mercado.....	14
1.6.1. Compactadores domésticos	14
1.6.2. Compactadores urbanos	16
1.6.3. Compactadores industriales.....	18
1.7. Requisitos de diseño.....	20
CAPÍTULO 2. DESARROLLO DEL DISEÑO MECÁNICO DEL PRODUCTO	22
2.1. Introducción	22
2.2. Determinación de la fuerza máxima a realizar por el mecanismo	22
2.3. Decisión del mecanismo a utilizar	25
2.3.1. Matriz de decisión	25
2.4. Diseño del contenedor compactador	27
2.4.1. Descripción de la máquina	27
2.4.2. Funcionamiento del contenedor	29
2.4.3. Fabricación de un prototipo inicial.....	31
2.4.4. Elección del actuador lineal	33
2.4.5. Diseño de la prensa	37

2.4.6.	Diseño de la unión del husillo con la prensa	42
2.4.7.	Elección del motor eléctrico.....	46
2.4.8.	Dimensionado del sistema de guiado	57
2.4.9.	Diseño del mecanismo de expulsión de los envases	66
2.4.10.	Uniones atornilladas	70
2.4.11.	Estructura	74
2.5.	Carcasa exterior.....	88
2.6.	Materiales	89
CAPÍTULO 3. DESARROLLO DEL SISTEMA ELECTRÓNICO		93
3.1.	Electrónica del proyecto	93
3.2.	Características añadidas al contenedor.....	93
3.2.1.	Control y alimentación de los sensores y actuadores	94
3.2.2.	Activación del compactado	94
3.2.3.	Control del motor	95
3.2.4.	Detección de líquido en el interior.....	101
3.2.5.	Detección de mecanismo obstruido	102
3.2.6.	Detección del nivel del contenedor	103
3.2.7.	Panel de control del contenedor.....	104
3.2.8.	Detección de compuerta abierta	105
3.2.9.	Apertura de la compuerta de expulsión.....	107
3.2.10.	Otras aplicaciones estudiadas	109
3.2.10	Esquema general de conexiones	113
3.3	Configuración y testeo de los sensores y módulos	114
3.3.1.	Estudio y análisis del sensor de infrarrojos	114
3.3.2.	Testeo de funcionamiento del botón.....	116
3.3.3.	Testeo de funcionamiento del módulo HC-SR04	117
3.3.4.	Testeo de funcionamiento del sensor Reed	119
3.3.5.	Testeo de funcionamiento del sensor de líquido	119
3.3.6.	Testeo de funcionamiento del módulo IBT-2	120
3.3.7.	Testeo y configuración de las alternativas estudiadas	122
3.3.8.	Testeo del funcionamiento general	130
3.4.	Funcionamiento del contenedor	131
3.4.1.	Diagrama de flujo general	131
3.4.2.	Compactación y comprobación de envase caído	133
3.4.3.	Envío de datos a la base de datos	135
CAPÍTULO 4. RELACIÓN DEL PROYECTO CON EL MEDIOAMBIENTE		137
CAPÍTULO 5. PRESUPUESTO		138
CAPÍTULO 6. CONCLUSIONES.....		144
6.1.	Líneas futuras de trabajo	145
AGRADECIMIENTOS		147

BIBLIOGRAFIA	148
Libros	148
Memorias.....	149
Archivos electrónicos	149
Páginas web	150
Software	152
REFERENCIAS.....	152

i. Objetivos

Al tratarse de un proyecto educativo tiene como principal función el aprendizaje del proceso de diseño de un producto en el sentido ingenieril por parte de los tres miembros del grupo, así como el aprendizaje a trabajar en equipo en un proyecto de este calado.

El objetivo inicial de este proyecto es el de desarrollar el diseño de una máquina, en este caso un contenedor compactador de envases doméstico, incluyendo las partes de mecánica y electrónica.

Como objetivo secundario del proyecto se encuentra el conseguir diseñar un producto funcional y, a corto plazo, comercializable. Para ello se deberán tener en cuenta parámetros de diseño realistas. No se determina como objetivo el diseño de un producto listo para ser fabricado, sino el diseño de un prototipo final.

ii. Motivación

Se presentó en la universidad la posibilidad de realizar proyectos multidisciplinares lo que nos llamó mucho la atención. El trabajar con estudiantes de otras disciplinas amplía el campo de aprendizaje durante el proyecto, además de darle más valor al mismo.

La temática del proyecto es la que más nos agradó a los tres miembros del grupo y lo solicitamos como primera opción. El hecho de desarrollar un producto con el objetivo de resolver una problemática social y medioambiental es lo que hizo decantar la decisión de selección.

iii. Metodología

Para el proyecto que sigue a esta introducción se han utilizado diversas metodologías de trabajo. El proyecto ha estado conducido en toda su totalidad por la metodología del *Design Thinking*, sobre todo en su parte inicial donde el diseño e ideas iniciales ocupaban todo el tiempo de trabajo.

Durante el proyecto se han llevado a cabo las metodologías de trabajo Agile, incluyendo el trabajo en *Kamban* y las *Demos* con el tutor. Estas *Demos*, mediante el *feedback* con el cliente, que en este caso era el tutor, han sido muy beneficiarias para perfeccionar el proyecto y todas sus partes. Además, al realizar las *Demos* juntamente con otros grupos multidisciplinares el enriquecimiento y aprendizaje ha sido mayor.

iv. Estructura

Para la realización de este proyecto se ha estructurado el documento en seis capítulos y cinco anexos. Además, se adjunta al mismo el libreto de planos y el manual del usuario.

- En el primer capítulo, tras una breve introducción sobre la situación actual del reciclaje mundial, se sitúa el proyecto en el contexto de compactadores domésticos, urbanos e industriales actuales. Mediante el análisis de las normativas y con la realización de una encuesta a potenciales usuarios, se recogen los requisitos de diseño del proyecto.

- En el segundo capítulo, se presenta el desarrollo mecánico del proyecto. En primer lugar, se resumen los resultados de un ensayo con una gran variedad de envases para encontrar la fuerza necesaria de compactación de cada uno y así determinar la fuerza máxima que deberá ejercer el mecanismo. Tras estos estudios, se realiza la selección y prediseño del mecanismo. Seguidamente, se exponen los procesos que se han seguido para la determinación de los materiales, dimensionamiento y diseño del mecanismo.
- En el tercer capítulo, siempre en conjunción con el desarrollo mecánico, se presenta el diseño de la parte electrónica del proyecto. El contenedor requiere la instalación de diversos sensores los cuales automatizan el proceso y aportan valor al producto. Para ello se necesita el proceso de programación y diseño que se expresan en este capítulo. Se realizan pruebas a escala con dichos sensores de las cuales se extraerán datos y resultados para la aplicación final. Además, en este capítulo, se detalla el proceso seguido para el control del motor eléctrico.
- En el cuarto capítulo, se recoge la relación del proyecto con la problemática de la contaminación medioambiental. Se expone como el proyecto, desde su fase inicial, ha tenido en cuenta los aspectos medioambientales para su desarrollo en esta línea.
- En el quinto capítulo, se presenta el presupuesto para la fabricación de un ejemplar del producto. Se trata de un presupuesto orientativo para la realización de un prototipo final, por lo tanto, no se tienen en cuenta factores económicos de fabricación en línea, mano de obra, entre otros aspectos.
- En el sexto y último capítulo, se expresan las conclusiones del proyecto y se marca el camino para futuras líneas de trabajo. El proyecto tiene varios puntos de mejora evidentes los cuales se exponen en este capítulo. También se presentan algunos usos posibles que podría recibir el contenedor con alguna modificación.
- En el primer anexo, se recogen las tablas de resultados de los estudios realizados durante el proyecto como el análisis de fuerza máxima a realizar por el motor, así como las tablas de cálculos.
- En el segundo anexo, se encuentran las tablas normalizadas y prontuarios utilizados para el dimensionamiento de componentes como la estructura del contenedor como las uniones atornilladas.
- En el tercer anexo, se recogen las fichas técnicas de todos aquellos componentes que se han utilizado en el proyecto con el objetivo de que cualquier persona que lea el proyecto pueda consultar datos técnicos de los componentes en cualquier momento, además de ser útiles para una futura continuación de este.
- En el cuarto anexo, se pueden consultar los códigos de programación de los sensores y electrónica del proyecto.

- En el quinto y último anexo, vienen expresados en gráficos los resultados de las encuestas realizadas a los potenciales usuarios del producto, resultados de la cual se encuentran resumidos en el capítulo primero de este proyecto.

En el libreto de planos que se adjunta a este proyecto, contiene los planos de fabricación de todas aquellas piezas o componentes que no puedan ser adquiridos de forma externa. También se adjunta el manual de usuario que debería adjuntarse al producto

v. Índice de tablas

<i>Tabla 1. Listado de los supermercados en los cuales se han analizado los envases.....</i>	<i>11</i>
<i>Tabla 2. Valores de la puntuación z.</i>	<i>12</i>
<i>Tabla 3. Listado de los requisitos de diseño del proyecto.</i>	<i>21</i>
<i>Tabla 4. Valores medios de la fuerza mínima para comprimir los envases indicados.</i>	<i>24</i>
<i>Tabla 5. Tabla comparativa de los distintos tipos de mecanismos planteados.</i>	<i>26</i>
<i>Tabla 6. Valores de f_u y β_w según el tipo de acero.</i>	<i>40</i>
<i>Tabla 7. Agrupación de masas para el cálculo del tiempo de aceleración del motor.</i>	<i>48</i>
<i>Tabla 8. Momentos resistentes mínimos que cumplir por vigas de distintos materiales.</i>	<i>81</i>
<i>Tabla 9. Momentos de inercia mínimos que cumplir por vigas de distintos materiales.</i>	<i>82</i>
<i>Tabla 10. Valores del momento resistente y de inercia mínimos para el acero S235.....</i>	<i>86</i>
<i>Tabla 11. Características generales de una aplicación.</i>	<i>90</i>
<i>Tabla 12. Características del material.</i>	<i>91</i>
<i>Tabla 13. Listado de materiales utilizados para los componentes de la máquina.....</i>	<i>92</i>
<i>Tabla 14. Valores leídos por Arduino comparados a los valores de intensidad real</i>	<i>121</i>
<i>Tabla 16. Presupuesto de los componentes estructurales</i>	<i>139</i>
<i>Tabla 17. Presupuesto de los componentes mecánicos</i>	<i>140</i>
<i>Tabla 18. Presupuesto de la tornillería.....</i>	<i>141</i>
<i>Tabla 19. Presupuesto de los componentes electrónicos</i>	<i>142</i>
<i>Tabla 20. Presupuesto total</i>	<i>143</i>

vi. Índice de figuras

Figura 1. Imagen del 15-inch Krüsher Trash Compactor y sistema de la compactación .	15
Figura 2. Proceso del compactado en el Titan.	15
Figura 3. Modelado del Reduver.	16
Figura 4. Imagen exterior del modelo BigBelly Solar Compactor	17
Figura 5. Imagen exterior e interior del CleanCUBE	17
Figura 6. Imagen de un CHB-1500	18
Figura 7. Imagen de la Miltek XP-200S	19
Figura 8. Simulación del sistema mecánico de la HSM PETPF	20
Figura 9. Fotografía del ensayo que se llevó a cabo para determinar los envases críticos	23
Figura 10. Imagen 3D de la prensa.	27
Figura 11. Vista lateral del sistema de guiado de la prensa.	28
Figura 12. Imagen 3D de la compuerta de expulsión de los envases compactados.	29
Figura 13. Fotografía del prototipo de madera terminado.	31
Figura 14. Fotografía del prototipo con la galga 620-A50 instalada para tomar datos.	32
Figura 15. Imagen del interior de un husillo con recirculación de bolas	33
Figura 16. Representación 3D de un husillo de bolas cilíndrico con resorte, óptimo para ser aplicado en el proyecto.	36
Figura 17. Imagen 3D de la parte trasera de la placa de la prensa.	38
Figura 18. Anilla Seeger como la que se colocará para fijar los rodamientos.	38
Figura 19. Imagen 3D de la parte frontal de la placa donde se aprecian los agujeros avellanados.	39
Figura 20. Imagen 3D de la parte trasera de la placa deslizante ya terminada.	39
Figura 21. Imagen 3D de la pieza de unión donde se aprecian los agujeros realizados.	42
Figura 22. Imagen 3D de la otra cara de la pieza unión.	43
Figura 23. Representación de un embrague cónico.	43
Figura 24. Imagen 3D de la punta mecanizada de la barra del husillo.	45
Figura 25. Fotografía del motor MPM3-0004/CONT del fabricante Parvalux, motor seleccionado para el proyecto.	47
Figura 26. Imagen 3D de todos los cuerpos que moverá el motor eléctrico.	48
Figura 27. Cinema de velocidades angulares	49
Figura 28. Gráfico de arranque del motor.	50
Figura 29. Representación 3D del tren de engranajes del mecanismo.	54
Figura 30. Diagrama del cuerpo libre de la prensa durante el compactado.	57
Figura 31. Diagrama del cuerpo libre de una de las guías.	59
Figura 32. Diagrama de momentos flectores de una de las guías.	60
Figura 33. Diagrama de Haigh.	61
Figura 34. Imagen 3D del fresado realizado para la correcta alineación de las guías.	63
Figura 35. Fotografía de un rodamiento de casquillo autolubrificante Icus	64
Figura 36. Datos para el cálculo de la vida útil de los cojinetes Icus mediante el aplicativo web	65
Figura 37. Imagen 3D de la parte inferior de la compuerta de expulsión.	67
Figura 38. Imagen 3D del sistema cremallera entre la compuerta y el motor DC.	68
Figura 39. Fotografía del motor S330012 seleccionado para la compuerta de expulsión	69
Figura 40. Cono de compresión de uno de los tornillos.	72
Figura 41. Imagen 3D de la estructura interna de la máquina.	75
Figura 42. Imagen 3D de los cuatro montantes frontales.	76
Figura 43. Imagen 3D de los montantes medios.	76
Figura 44. Imagen 3D de los montantes que soportan el motor DC.	77
Figura 45. Esquema de una de las vigas que soportan la fuerza horizontal del prensado.	78
Figura 46. Diagramas de fuerza cortante y momento flector de una viga con dos articulaciones	79
Figura 47. Croquis de la estructura interna de la máquina.	83
Figura 48. Diagramas de fuerza cortante y momento flector de una viga encastada	84
Figura 49. Fotografía de uno de los pies niveladores 12648/10, sin la rosca.	88
Figura 50. Conexión entre Arduino y el botón de inicio.	95
Figura 51. Conexión entre Arduino y el módulo IBT-2, y el módulo y el motor.	97
Figura 52. Conexión entre Arduino y el botón de inicio.	98
Figura 53. Conexión del detector de agua con Arduino.	101

Figura 54. Conexionado entre Arduino y el sensor Sharp.	102
Figura 55. Conexionado entre Arduino y el módulo HC-SR04.	103
Figura 56. Conexionado entre Arduino y el led RGB.	105
Figura 57. Esquema del sistema de desconexión del motor.	106
Figura 58. Conexión entre Arduino y el módulo sensor Reed.	107
Figura 59. Esquema eléctrico del circuito del motor pequeño.	108
Figura 60. Esquema eléctrico del control del relé.	109
Figura 61. Conexionado entre Arduino y módulo MQ-2.	110
Figura 62. Conexionado entre Arduino y el módulo ESP8266.	112
Figura 63. Esquema de conexiones general.	113
Figura 64. Simulación del interior del contenedor con una caja de cartón.	114
Figura 65. Respuesta del sensor Sharp sin pasar ningún objeto frente a él.	115
Figura 66. Respuesta del sensor Sharp con objetos a tres distancias distintas.	116
Figura 67. Representación del trayecto del sonido.	117
Figura 68. Respuesta del sensor midiendo la distancia desde una mesa al suelo (72 cm) y desde la mesa a un objeto situado a 25 cm.	118
Figura 69. Respuesta del sensor al entrar en contacto con una gota de un líquido.	119
Figura 70. Lectura del osciloscopio de la señal PWM.	120
Figura 71. Sensibilidad del sensor MQ-2 frente a varios gases.	123
Figura 72. Lectura del ensayo.	123
Figura 73. Respuesta que se debe obtener al enviar el comando AT.	124
Figura 74. Respuesta que se debe obtener al enviar el comando AT+CWMODE.	125
Figura 75. Respuesta que se debe obtener al enviar el comando AT+CWLAP.	125
Figura 76. Respuesta que se debe obtener al enviar el comando AT+CIPMUX.	126
Figura 77. Creación de la base de datos.	127
Figura 78. Configuración de las columnas que tendrá la tabla.	127
Figura 79. Directorio donde deben estar ubicados los archivos.	128
Figura 80. Valores recibidos de la base de datos.	128
Figura 81. Mensaje que devuelve después de enviar la petición http.	129
Figura 82. Fotografía del testeo de todos los sensores conjuntamente.	130
Figura 83. Diagrama de flujo general.	131
Figura 84. Diagrama de flujo de la compactación y detección envase caído.	134
Figura 85. Diagrama de flujo de la función "comprobar".	135
Figura 86. Diagrama de flujo del envío de datos.	136

vii. Índice de fórmulas

[1] Ecuación que determina el tamaño de muestra adecuado para una encuesta	12
[2] Ecuación que determina el par de avance del husillo de bolas	34
[3] Ecuación que determina el par de retroceso del husillo de bolas	34
[4] Ecuación que determina la velocidad angular necesaria del husillo	35
[5] Ecuación que determina la potencia útil del husillo en su avance	35
[6] Ecuación que determina la potencia útil del husillo en su retroceso.....	35
[7] Ecuación que determina la potencia que debe suministrar el motor al husillo.....	35
[8] Ecuación que determina la resistencia de una soldadura en ángulo por unidad de área	40
[9] Ecuación que determina el espesor mínimo de una soldadura	41
[10] Ecuación que determina la fuerza que puede soportar una soldadura sin fallar.....	41
[11] Ecuación que determina la fuerza de montaje de unión atornillada	44
[12] Ecuación que determina el par de torsión de una unión cónica	44
[13] Ecuación que determina el factor de seguridad entre dos pares de torsión	45
[14] Ecuación que determina la potencia de un sistema lineal	46
[15] Ecuación para determinar la potencia absorbida por el motor	46
[16] Ecuación que determina el momento de inercia de un disco	49
[17] Ecuación del método de reducción a un eje	50
[18] Ecuación para determinar el par de torsión de arranque de un motor a partir de la aceleración angular y el momento de inercia.....	51
[19] Ecuación para determinar la velocidad angular en un movimiento de aceleración constante.....	51
[20] Ecuación del movimiento circular uniformemente acelerado	52
[21] Ecuación del movimiento circular uniforme	52
[22] Suma para determinar el tiempo total del compactado	52
[23] Relación de transmisión de un engranaje	53
[24] Fórmula de Lewis para el dimensionado de un tren de engranajes	54
[25] Ecuación que determina la fuerza transmitida por un engranaje.....	56
[26] Ecuación que determina el grosor mínimo que debe tener los dientes de un engranaje para no romper.....	56
[27] Cálculo de la fuerza provocada por el peso del mecanismo que deben soportar las guías	58
[28] Ecuación del momento flector máximo en una placa rectangular.....	60
[29] Ecuación de un parámetro imaginario para el cálculo siguiente	60
[30] Ecuación de la tensión de flexión para el momento flector máximo.....	60
[31] Ecuación de la recta para realizar el diagrama de Haigh	61
[32] Ecuación del factor de seguridad según las tensiones	62
[33] Ecuación para calcular la fuerza resistente del sistema de guiado.....	68
[34] Ecuación para calcular el par mínimo que debe suministrar el motor de la compuerta.....	68
[35] Relación de la fuerza de montaje de una rosca, el área de una rosca, el factor de seguridad y la tensión máxima admisible	70
[36] Ecuación para el cálculo del momento de montaje de un tornillo	71
[37] Ecuación para el cálculo del momento prescrito de un tornillo	71
[38] Ecuación para calcular el coeficiente de rigidez de los elementos.....	71
[39] Ecuación para calcular el coeficiente de rigidez de un tornillo	71
[40] Ecuación para calcular la fuerza separadora entre los elementos de una unión atornillada	72
[41] Ecuación para calcular la fuerza separadora de un tornillo.....	72
[42] Ecuación para calcular la fuerza total de los elementos de una unión atornillada	73
[43] Ecuación para calcular la fuerza total de un tornillo.....	73
[44] Ecuación para calcular la tensión máxima admisible en una unión atornillada	73
[45] Ecuación para determinar el factor de seguridad de una unión atornillada según las tensiones.....	74
[46] Ecuación para determinar la carga repartida sobre una viga con dos apoyos	78
[47] Ecuación para determinar el momento flector máximo en una viga con dos apoyos	79
[48] Ecuación que relaciona el momento flector máximo, el momento resistente mínimo y la tensión admisible de la viga	80
[49] Ecuación para determinar la tensión admisible de una viga	80
[50] Ecuación para determinar la deformación máxima de una viga encastada.....	81
[51] Ecuación que relaciona la deformación máxima y la deformación admisible	82
[52] Ecuación que determina la deformación máxima de una viga encastada	86

[53] Ecuación para calcular el V_p de un transformador	98
[54] Ecuación para calcular el V medio de un transformador	99
[55] Ley de Ohm para determinar la R_{load}	100
[56] Ecuación para determinar la tensión de rizado en el condensador	100
[57] Ecuación de un divisor de tensión	111
[58] Ecuación para calcular la distancia que recorre la señal del sensor ultrasónico.....	117

CAPÍTULO 1. Estado del arte

1.1. Problemática de los residuos urbanos

Desde sus inicios la especie humana ha explotado los recursos que la naturaleza ha puesto a su alcance. En el período prehistórico, los residuos generados por los humanos no suponían un problema ya que las actividades realizadas estaban integradas en los ciclos naturales y los residuos generados eran soportados por los ecosistemas. Poco a poco, con el paso de los años, la gestión de los residuos generados se fue convirtiendo en un problema. A finales del siglo XVIII, con la Revolución Industrial, el comercio se desarrolló de grandes maneras debido a las nuevas actividades económicas surgidas en este período. En esta época comenzó a tratarse el incipiente problema que surgía de la acumulación de residuos. Pero es en el siglo XX, con la aparición de la cultura del usar y tirar derivada del crecimiento de la economía de consumo, cuando el problema adquirió dimensiones preocupantes hasta llegar a hoy en día (Chiminello, y otros, 2010).

La contaminación y huella ecológica es un problema de escala mundial que afecta cada vez a más personas y que pone en riesgo muchas vidas. Cada año que pasa el aire que se respira tiene un nivel de contaminación más alto, hasta el punto de que nueve de cada diez personas respiran aire contaminado en el mundo, y cada año mueren a causa de la contaminación 7 millones de personas (Ecoembes, 2018). El pasado mes de mayo, la OMS emitió un estudio bastante preocupante donde se calificaba a los altos niveles de contaminación como un factor de riesgo crítico para las enfermedades ya que se estima que causa el 24% de las muertes por cardiopatías, el 25% de las muertes por enfermedades cerebrovasculares, el 29% de los cánceres de pulmón y hasta el 49% de las muertes por neuropatía. Además, la contaminación es la causa principal del 25% de las muertes de niños menores de 5 años (Tendencias 21, 2018). Estos escalofriantes datos solo hacen que empeorar debido a que el ritmo de crecimiento del consumo es demasiado elevado como para que el planeta pueda soportarlo. El gran aumento de los residuos que se generan en el mundo dificulta cada vez más su gestión (Careaga, 1993).

Desde los primeros pasos de la raza humana se han gestionado los residuos con el objetivo de preservar la salud pública, pero con el paso del tiempo, la sociedad ha desarrollado también la necesidad de la conservación del medio ambiente. En cuanto a la gestión de los residuos, históricamente han existido solamente cuatro métodos: tirarlos, quemarlos, reciclarlos o minimizarlos desde su origen. Estos dos últimos caminos son los que la sociedad actual ha entendido que son los que se deben seguir.

Uno de los residuos urbanos más abundantes y más contaminantes son los envases, es decir, esos residuos destinados a ser reciclados en el contenedor amarillo. De ahora en adelante, siempre que se utilice el término *envase* en el proyecto, solamente englobará los envases destinados al contenedor amarillo, es decir, envases de cristal, vidrio o cartón no se contemplan dentro de este término. De este grupo de residuos forman parte todo tipo de botellas y envases de plástico, latas de aluminio, briks, envoltorios, etc. Los plásticos son muy utilizados para la elaboración de envases y envoltorios que al desecharse sin control han generado enormes vertederos marinos como, por ejemplo, la llamada "Isla de basura" situada en el Océano Pacífico.

La concienciación social ha sido lenta, pero hoy en día instituciones, empresas, jueces, ingenieros, especialistas y la población en general se han alineado para encontrar soluciones necesarias. Una de ellas es la del reciclaje a gran escala y es posiblemente la solución en la que la población actúa de forma más directa.

El reciclaje es la acción de someter materiales usados o desperdicios a un proceso de transformación o aprovechamiento para que puedan ser nuevamente utilizados. Reciclar es una acción muy beneficiosa para el planeta debido a que reduce considerablemente las emisiones de gases a la atmósfera, y reutilizar los productos también supone un gran ahorro en cuanto a consumo de materias primas.

El proceso del reciclaje lo inician los ciudadanos depositando los envases en los contenedores de color amarillo que los ayuntamientos ponen a disposición de la ciudadanía. Según datos de Ecoembes, en el año 2017, el 91% de la población tuvo un puesto de reciclaje a menos de 100 metros de la vivienda (Ecoembes, 2018), lo que facilita e impulsa el reciclaje debido a la comodidad que supone no tener que ir a depositar los residuos a lugares específicos como en otros países ocurre. Posteriormente, las mismas instituciones, se encargan de recoger dichos envases y transportarlos a las plantas de reciclaje. Donde, finalmente, los envases se reciclan y se convierten en nueva materia prima.

1.2. Situación actual del reciclado

La acumulación de los residuos urbanos es uno de los motivos principales de los alarmantes datos sobre la contaminación a nivel mundial. Como ya se ha introducido en el punto anterior, el reciclaje es una de las soluciones para mitigar este problema. Pero el reciclaje es una acción que tiene muchos agentes implicados por lo que es complicado llevarla a cabo.

Anualmente se genera alrededor de 1 billón de toneladas de residuos (Borràs, 2018). Según los datos de la agencia EFE, Estados Unidos genera 236 millones de toneladas de residuos situándose a la cabeza mundial. Le sigue Rusia con 200 millones de toneladas. En España se generan 120 millones de toneladas de residuos (EFE, 2016). Obviamente estos datos están determinados por la cantidad de habitantes y superficie de cada país. En cuanto a los datos de residuos generados por habitante de media, son países con muy pocos recursos los que lideran este ranking como Trinidad y Tobago, Antigua y Barbuda, San Cristóbal y Nieves o Sri Lanka (Borràs, 2018).

La Unión Europea es la región con mayor consciencia sobre el problema y también la que dispone de mejores mecanismos para hacer frente al problema. Desde los años 70, el reciclaje comenzó a verse en algunos sectores como una actividad económica. Se estima que en el mundo hay más de 60 millones de recicladores activos lo que transformado a un beneficio económico serían miles de millones.

El Sistema Dual administrado por el programa Pro-Europe, aplicado inicialmente en Alemania, es uno de los motivos del éxito de los datos de reciclaje en Europa. Este sistema es el que autoriza el estampado de un símbolo verde en los productos indicando que el fabricante ha pagado una tasa para financiar la recolecta, clasificación y reciclado de los envases. Las tasas son menores cuanto menos pesen los envoltorios de los productos, incentivando así también al ahorro de materia prima desde la fabricación. Este sistema ya se ha introducido en más de 30 países europeos y en Norteamérica. En algunos países, las altas tasas han promovido que algunas empresas hayan preferido invertir en tecnología para el reciclado privado de sus productos antes que pagar las tasas (Michell, 2007).

El país del mundo con mejores datos en cuanto al reciclaje y el cual debe servir como ejemplo a seguir es Suiza. En el país alpino se recicla más de la mitad de los residuos generados, llegando en este último año 2017 al 52%. Le siguen de cerca otros países europeos como Alemania, Noruega, Países Bajos o Bélgica. Preocupante son los datos de dos potencias mundiales como Estados Unidos y Rusia. Si bien es cierto que en el país norteamericano las tasas de los últimos años eran bastante altas, sigue siendo el país que más residuos genera, como se ha comentado anteriormente. Además, las políticas del presidente Trump han dificultado la mejora de estos datos. En cuanto a Rusia, es el país europeo con peor tasa de reciclaje siendo esta solamente del 4%. Teniendo en cuenta de que es el país más grande del mundo en cuanto a extensión es un dato preocupante (Borràs, 2018).

España no es ajena a la problemática de la contaminación ya que tanto en espacios urbanos como rurales se da este problema. Por ese motivo, desde hace años se ha potenciado las campañas, recursos e inversiones en mejora del sistema de reciclaje, ya que se contribuye a la reducción de emisiones de gases a la atmósfera, además de ahorrar en materias primas y energía.

El sistema de reciclaje español es uno de los mejores de Europa, pero queda mucho camino por recorrer. El reciclaje comienza en los hogares de cada habitante por eso es importante una buena educación y concienciación de que el reciclaje doméstico es el primer paso de un largo proceso.

En España los envases domésticos representan un 8% del total de los residuos sólidos urbanos generados anualmente. En 2017, se consiguió reciclar 1.399.582 toneladas de envases lo que representa un aumento del 3'6% respecto los datos del año 2016. Esta cifra representa el 77'1% del total de los envases domésticos consumidos en España lo que coloca a nuestro país por encima de la media europea situada en el 73% (Ecoembes, 2018).

De la totalidad de envases de aluminio consumidos en España se reciclaron el 86'9%. Por otro lado, los envases de cartón o briks se reciclaron en un 81'9% de los casos. Y, por último, con una cifra inferior a las dos anteriores, se encuentran los envases de plástico los cuales fueron reciclados en un 69'7% de los casos (Ecoembes, 2018).

Los ciudadanos españoles en el año 2017 reciclaron de media 13'9 kg lo que equivale a unos 1.142 envases por persona al año. Curiosamente los datos de reciclaje no son uniformes en todo el país y tienen variaciones, en algunos casos muy significativos, según la comunidad autónoma analizada. Las comunidades punteras en cuanto al reciclaje en España y que se sitúan por encima de la media son Madrid, Navarra, País Vasco y las Islas Baleares; en cambio, comunidades como la Valenciana, Cantabria o Canarias son en las que menos se recicla (Ecoembes, 2018).

A pesar de todos estos datos que nos muestran una muy buena situación de crecimiento en cuanto a la participación ciudadana frente al reciclaje, todavía hay cosas que se pueden hacer para mejorar aún más estos datos. Aún hay mucha gente que no recicla por distintos motivos, y también hay mucha gente que, por falta de información o dejadez, no realiza correctamente la separación de residuos.

1.3. Idea de producto

Tras analizar y entender la problemática que se deriva del enorme consumo de envases de la sociedad actual, se saca la clara conclusión que hay que tomar medidas para, al menos, reducir este ritmo de autodestrucción que el planeta está llevando. Estas medidas deben dividirse entre medidas a gran y pequeña escala.

Como medidas a gran escala se encuentran aquellas que deben proponer las instituciones y grandes empresas con alta influencia en estos campos. Son aquellas que implican instaurar nuevas normas para la gestión de residuos y objetivos de reciclado jurídicamente vinculantes. Por ejemplo, el 22 de mayo de este mismo año, se ha aprobado un nuevo paquete de medidas en los que se marca el objetivo de conseguir llegar al 50% del total de envases reciclados en la Unión Europea para el año 2020 (Consejo de la Unión Europea, 2018).

Pero las medidas que se atañen al contenido de este proyecto son las medidas de pequeña escala, aunque siempre están relacionadas entre sí mediante el cumplimiento de normativas. Por lo tanto, la solución que se pretende desarrollar en el proyecto estaría incluida en el grupo de pequeñas soluciones, las cuales no consiguen cambiar el mundo por ellas mismas, pero la suma de todas ellas son las que marcan la diferencia. Y en este grupo entrarían la creación de nuevos productos, la optimización o sustitución de los ya existentes y el cambio de procesos o acciones, todos ellos relacionados con el reciclado de envases.

Como se ha comentado en las primeras líneas del documento, la idea de un contenedor compactador de envases a nivel doméstico se trataba de un proyecto propuesto por el tutor por lo que el grupo iniciaba desde ese punto. Aun así, la idea de diseñar un contenedor compactador de envases es muy amplia ya que existen muchas soluciones posibles a las que se les podría atribuir este título.

La primera decisión que se tomó fue la de diseñar un producto de uso doméstico en detrimento de uno urbano. Los contenedores urbanos tienen todavía un amplio margen de desarrollo, pero la prácticamente inexistencia de soluciones a nivel doméstico hizo que el proyecto se encaminase más a un producto para el hogar.

La idea inicial que se propone como producto a desarrollar durante el proyecto es, como ya se ha comentado anteriormente, un contenedor compactador de envases doméstico el cual permita reducir el volumen de estos. Los envases son residuos los cuales ocupan mucho espacio aprovechable. Reducir el volumen de los envases ya se realiza en muchos camiones de la basura los cuales, en su interior, en el compartimento de los envases, disponen de una prensa mecánica. Pero este proceso no es tan eficaz como el que se propone en este proyecto, ya que, comprimiendo cada envase individualizado se reduce mucho más volumen que todos a la vez. Por lo tanto, el objetivo de este contenedor será el de reducir el espacio que ocupan estos residuos en la vivienda, reduciendo a su vez el número de bolsas de basura que se deberán utilizar. La idea inicial es que la compactación se realice con una prensa, a determinar todavía. El mismo contenedor, como su propio nombre indica, almacenará los envases compactados en su interior.

El diseño del producto se realizará desde cero, siguiendo los pasos de la metodología del *design thinking* expuesta en el inicio de este documento. En este mismo capítulo, se empatiza con los potenciales clientes y con la problemática actual para así definir qué características debe tener el producto. Las ideas de diseño se complementarán con un estudio de mercado de productos similares o que puedan ser de ayuda por alguna de sus características.

1.4. Análisis de los envases a compactar

“Proteger y conservar el producto para que llegue en buenas condiciones higiénicas para su consumo o que sean resistentes a los factores ambientales externos como la luz, gases o humedad, son otras utilidades de los envases. Por otro lado, debido a nuestro modo de vida, el número de envases que utilizamos en el día a día es cada vez mayor. Por ello, es necesario que desde todos los ámbitos posibles hagamos un esfuerzo y seamos conscientes de la gran responsabilidad que tenemos para garantizar que se reciclen y puedan tener una segunda vida” (Ecoembes, 2017).

Es importante recordar que se entiende como envase a los residuos urbanos destinados a ser reciclados en el contenedor amarillo, es decir, quedando excluidos los envases de vidrio y cartón.

Las directrices del *Design Thinking* indican que previo al proceso de idear se debe estudiar, empatizar y analizar la situación donde el producto se encontrará (Dinngo, 2018). Por ese motivo, se debe conocer al detalle todos los productos susceptibles de ser compactados por el compactador que se expone en este proyecto. Analizar los envases permitirá definir las dimensiones, características y requerimientos del contenedor.

Para obtener este conocimiento de los residuos de la población, se planteó acudir a una planta de reciclaje para analizar in situ los residuos y cuantificarlos. Esta idea se desestimó ya que se decidió no hacer un estudio sobre los residuos sino sobre los productos susceptibles de ser residuos. De esta forma también se analizan productos que pueden ser poco comunes y que podría ser que no se tuviese en cuenta en el estudio en la planta de reciclaje.

Este estudio se ha realizado analizando todos los productos disponibles en los principales supermercados españoles.

Supermercados analizados	
Alcampo	Condis
Aldi	Suma
Dia	El Corte Inglés
Carrefour	Hipercor
Consum	Supercor
Mercadona	Spar
Lidl	Simply
Eroski	Caprabo

Tabla 1. Listado de los supermercados en los cuales se han analizado los envases

Realizando este análisis previo, se ha determinado que la máxima capacidad de los envases PET que compactará el contenedor serán garrafas de 5L. Se ha fijado ésta como el volumen máximo porque los envases de más de 5L son envases que se consumen con menos frecuencia y el tiempo de consumo es muy grande, es decir, en una semana se consume un número muy reducido de este tipo de envases. Además, las dimensiones del contenedor serían demasiado grandes para poder compactar dichas garrafas.

Con este análisis también se ha decidido que botellas o garrafas de otro plástico que no sea PET, sobre todo HDPE, la máxima capacidad de envase que se compactará será de 2L, por los mismos motivos anteriormente expuestos.

En conclusión, los envases que se compactarán serán envases tetrabrik, envases de aluminio, envases HDPE de hasta 2L y envases PP, PET y otros plásticos de hasta 5L. Tras esta observación inicial, se cree que los envases críticos serán los envases de aluminio por la dificultad de ser compactados. También serán determinantes los envases de 5L debido a sus grandes dimensiones.

1.5. Encuesta realizada a potenciales usuarios

Para determinar los requisitos del diseño del contenedor se debe analizar cuál es la problemática actual en el reciclado de envases a nivel doméstico por lo que se ha realizado una encuesta a potenciales usuarios del producto.

Una encuesta válida y de la cual se puedan extraer resultados útiles requiere que se determine el tamaño de muestra adecuado. Para este cálculo es necesario saber el tamaño de población al que se dirige la encuesta. En este caso, se ha escogido como población a los habitantes mayores de veinte años en Cataluña que, según el *Instituto de Estadística de Cataluña*, en 2018 se sitúa en 5.978.635 posibles usuarios (Institut d'Estadística de Catalunya (IDESCAT), 2018).

Otro factor que hay que tener en cuenta para la realización de la encuesta es el margen de error. Para esta encuesta se ha asumido un margen de error del 5%, que es el valor más común para este parámetro. Por último, el otro factor que se debe tener en cuenta es el nivel de confianza de la encuesta. Si se toman 30 muestras con un nivel de confianza del 95%, quiere decir que se obtendrán los mismos resultados en el 95% de las veces que se tomen datos para 30 muestras. En este caso se ha utilizado un valor del 90% que se encuentra dentro del margen típico (Paz, y otros, 2006).

Utilizando la siguiente fórmula se obtiene la muestra necesaria para una correcta validación de la encuesta:

$$\text{Tamaño de la muestra} = \frac{\frac{Z^2 * p(1-p)}{e^2}}{1 + \left(\frac{Z^2 * p(1-p)}{e^2 N}\right)} \quad [1]$$

Donde:

p: Proporción de individuos que poseen en la población la característica del estudio. Este dato normalmente es desconocido y se suele poner 0.5.

e: Margen de error.

N: Tamaño de la población.

z: La puntuación z es una constante que depende del nivel de confianza asignado. Este parámetro se corresponde con la cantidad de desviaciones estándar que una proporción dada se aleja de la media. Para encontrar la puntuación z adecuada, se debe consultar la tabla 02 (Wikipedia, 2017) (SurveyMonkey, 2018).

Nivel de confianza	Valor de z
80 %	1.28
85 %	1.44
90 %	1.65
91 %	1.69
92 %	1.75
93 %	1.81
94 %	1.88
95 %	1.96
99 %	2.58

Tabla 2. Valores de la puntuación z.

Con la fórmula y valores anteriores se ha determinado que el tamaño de la muestra necesario para la validación de los resultados de la encuesta para el proyecto es de 269 encuestados.

1.5.1. Resultados

A través de los resultados de la encuesta (Aroco Fauria, 2018), se han podido determinar los tres motivos más importantes por los que la gente no recicla en su hogar: aproximadamente la mitad de gente que no recicla (42%) es por falta de espacio, el 27% por desinterés y el 18% por falta de información. Por lo tanto, que el producto mejore o reduzca el espacio necesario para el proceso de reciclado doméstico podría incentivar a gente que ahora no recicla lo haga.

También era interesante saber qué tipos de envases suele reciclar la población ya que dependiendo de los envases que deba compactar el contenedor, el diseño será de una manera o de otra. Según los encuestados, el 96% de personas que reciclan envases reciclan botellas de plástico (de agua, de refrescos, de productos de limpieza, etc.), el 89% reciclan los envases Brik, el 73% reciclan las latas y el 72% reciclan envoltorios, bolsas y otros tipos de plásticos. En el caso de envoltorios y bolsas una compactación no sería útil en la mayoría de los casos, por lo que sería útil poder arrojar a contenedor ciertos productos sin ser compactados.

Otra pregunta interesante para orientar el diseño del producto era saber cuál es la principal molestia que encuentran los usuarios en el momento de reciclar. Se obtuvieron dos respuestas mayoritarias: un 42% de los encuestados opinan que la mayor molestia de reciclar en el hogar es que ocupan más espacio varios contenedores que uno solo, y otro 42% opina que la mayor molestia es el crecimiento desigual de residuos, por ejemplo, que el contenedor de envases se llene mucho más rápido que el orgánico debido a la densidad y la cantidad de aire que contienen los envases. Por lo tanto, el concepto de este proyecto ayudaría a resolver o mitigar estas molestias.

Preguntando más concretamente sobre el producto que se expone en este proyecto, se ha determinado que el 51% de las personas creían que un contenedor compactador facilitaría su proceso de reciclaje, aunque solamente el 3'7% no lo vería un producto útil. Por lo que se ha podido extraer que los usuarios se muestran cautelosos a valorar el producto antes de conocerlo.

También se ha solicitado a los usuarios que valorasen, según la importancia que le dan con valores del 1 al 5, ciertos parámetros de diseño del producto. Estas valoraciones han revelado que los parámetros más importantes para ellos son la funcionalidad, el precio y el consumo eléctrico. Por otro lado, los parámetros a los que menos importancia les da son el ruido y la estética.

En la última pregunta, donde se pedía a los encuestados que opinasen si comprarían un contenedor compactador de envases el 68'5% respondía dependiendo del precio, lo que reafirma el precio del producto como el ítem del producto más importante.

1.6. Análisis de mercado

Como punto de partida del diseño del contenedor compactador, se ha realizado un estudio de mercado para determinar qué productos ya existentes resuelven las necesidades a las cuales este proyecto pretende hacer frente. No solamente se han tenido en cuenta contenedores compactadores, sino que se ha ampliado el estudio a compactadores a nivel urbano e incluso industrial ya que pueden aportar soluciones mecánicas o de diseño aplicables al proyecto.

1.6.1. Compactadores domésticos

Aunque sí que existen otros compactadores de envases domésticos, no se ha encontrado ningún producto altamente comercializado e introducidos masivamente en los hogares. La mayoría son prototipos o productos que se encuentran en el inicio de su proceso de comercialización. Esto demuestra la baja cantidad de soluciones existentes a la problemática presentada.

1.6.1.1. Krüshr

Krüshr Ltd. se trata de una empresa norte americana dedicada a la comercialización de compactadores de basura empotrados en el mobiliario de la cocina. Disponen de varios modelos de diferentes dimensiones. Son capaces de compactar todo tipo de envases entre unas dimensiones determinadas. Algunos modelos disponen de un compactador de latas por separado. Son capaces de reducir el espacio que ocupan los residuos en un 85% (Krüshr North America, 2018). La gran ventaja de este modelo es su discreción dentro de la cocina ya que, al estar empotrado en el mobiliario, su aspecto simula a un cajón o armario más.

Los compactadores *Krüsh* realizan la compactación en el mismo cubo, es decir, los envases no son previamente compactados, sino que la reducción de volumen se realiza sobre todos los envases a la vez. Como se puede observar en la figura 1, el sistema de compactado es una prensa vertical automatizada de tijera la cual tiene la ventaja de ocupar un espacio muy reducido.

Estos modelos de compactadores se mueven en un rango de precios de 970,00 € hasta 1.620,00 € dependiendo del modelo y las dimensiones. Además, es necesario utilizar unas bolsas de basura especiales, el pack de las cuales tiene un precio de 17,00 € (Krüshr North America, 2018).

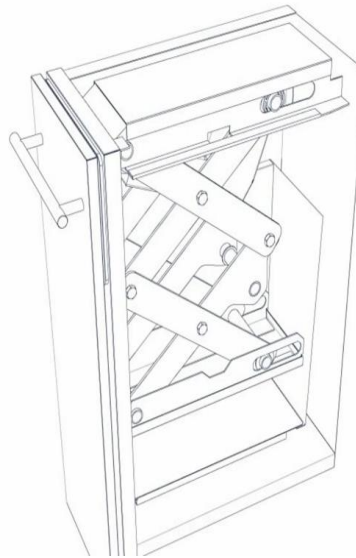


Figura 1. Imagen del 15-inch Krüsher Trash Compactor y sistema de la compactación (Krüsher North America, 2018).

1.6.1.2. Titan

El *Titan* es un modelo de cubo de basura doméstico de la empresa *Joseph Joseph* la cual comercializa productos del hogar para la cocina, baños y otras zonas de la vivienda.

En este caso, se trata de un modelo de contenedor de compactación manual. Dispone de un asa por la cual el propio usuario debe realizar una sencilla compactación de los residuos que se encuentran en el cubo. Tiene la capacidad de reducir hasta un tercio el volumen de los residuos dentro del cubo. El precio de mercado de este producto es de 200,00 € en su versión estándar, y de 240,00 € para una versión más grande. Al igual que el caso anterior, al producirse el compactado dentro del mismo cubo es necesario una bolsa especial el pack de las cuales tiene un precio de 9,00 € (Joseph Joseph, 2018).

El sistema de compactación manual permite reducir mucho el precio del producto, como se puede apreciar comparándolo con el producto anterior. Pero este tipo de contenedor tiene el inconveniente de que el usuario debe ejercer fuerza física para conseguir compactar los residuos. Si bien es cierto que la fuerza requerida no es muy elevada, para según qué envases, una persona de avanzada edad puede tener dificultades.



Figura 2. Proceso del compactado en el *Titan*. (Joseph Joseph, 2018)

1.6.1.3. Reduver

El nombre de *Reduver* proviene de la contracción de *Reductor de envases reciclables*. Se trata de un sencillo prototipo de compactador de envases. Es un utensilio sencillo el cual, basándose en el funcionamiento de la mandíbula de un cocodrilo, consigue compactar de forma básica envases reciclables (Reduver, 2014).

Al tener unas dimensiones tan pequeñas, no es capaz de compactar los envases en su totalidad como se aprecia en la figura 3 donde en la recreación 3D del producto se observa que la botella a compactar queda en parte fuera de la zona de compactado. Por este motivo, la cantidad de envases susceptibles de recibir una útil compactación con este utensilio se ve reducida a unos pocos.

Las principales ventajas de este producto son su sencillez, facilidad de uso, el poco espacio que ocupa y el bajo coste que supondría comparado con otros compactadores. Pero al ser un utensilio de accionamiento manual, también sufre la desventaja del producto anterior ya que el usuario debe ejercer fuerza física para conseguir compactar los envases.

No se conoce precio de venta todavía para este producto.

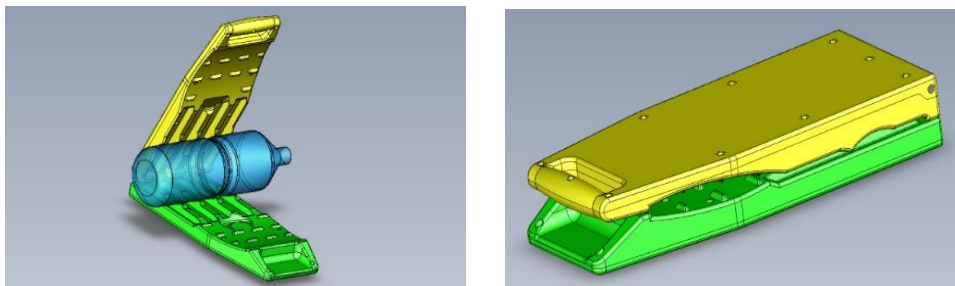


Figura 3. Modelado del *Reduver* (Reduver, 2014)

1.6.2. Compactadores urbanos

Se han encontrado varios modelos de basuras o contenedores urbanos los cuales compactan los residuos en su interior. La mayoría son productos que además incorporan tecnologías inteligentes de aviso de llenado, aviso de incendios, compactado automático, entre otras. Lo que les aporta un valor añadido.

1.6.2.1. BigBelly Solar Compactor

La *BigBelly Solar Compactor* pertenece a la empresa *Solar Bins Australia* y es una de las primeras basuras urbanas inteligentes. En su interior se aloja una prensa vertical la cual compacta los residuos de su interior consiguiendo multiplicar por cinco la capacidad del contenedor (Solar Bins Australia, 2018).

Además, al tratarse de una basura inteligente, dispone de la tecnología suficiente para ser capaz de mandar un aviso a la empresa que recoge los residuos para de esta forma optimizar el sistema de recogida de residuos urbanos reduciendo de esta forma emisiones de gases y costes.

Se encuentra en el proceso final de implementación ya que ha sido testado en distintas ciudades, entre ellas Bilbao o Barcelona.



Figura 4. Imagen exterior del modelo *BigBelly Solar Compactor* (Solar Bins Australia, 2018)

1.6.2.2. CleanCUBE

El *CleanCUBE*, de la empresa *E-Cube Labs*, se trata, como en el caso anterior, de una basura urbana compactadora de los residuos en su interior. Trabaja con energía solar y es capaz de almacenar ocho veces más de residuos que un mismo contenedor no compactador de estas dimensiones. Además, reduce en un 80% la frecuencia de recogida (ECube Labs, 2018). Trabaja con una prensa vertical en tijera.

Se encuentra disponible en tres tamaños distintos y puede adquirirse con alimentación de energía solar, eléctrica o en versión híbrida. Al igual que el caso anterior también dispone de tecnología que le convierte en un producto inteligente.



Figura 5. Imagen exterior e interior del *CleanCUBE* (ECube Labs, 2018)

1.6.3. Compactadores industriales

Se ha analizado también el mercado de compactadores de envases industriales. Teniendo en cuenta que estos compactadores se alejan mucho de lo que se imagina como un contenedor doméstico, puede ser de utilidad estudiar sus soluciones mecánicas para realizar el compactado.

1.6.3.1. CHB-1500

El *CHB-1500* es el compactador de envases y metales que presenta la empresa *Jovisa*, la cual dispone de otros modelos para otras funciones distintas.

Son compactadores hidráulicos los cuales ejercen de forma horizontal y pueden llegar a ejercer una fuerza de compresión de entre 75 y 125 toneladas (Jovisa, S.L., 2018). Son máquinas muy robustas y pesadas.



Figura 6. Imagen de un *CHB-1500* (Jovisa, S.L., 2018)

1.6.3.2. XP-200S

Al igual que *Jovisa*, la empresa *Miltek* dispone de un amplio catálogo de prensas y compactadores. Uno de sus modelos es el compactador *XP-200S*.

Es capaz de compactar cualquier tipo de residuo de cocina. En este caso se trata de una prensa hidráulica vertical. Puede llegar a compactar hasta un 90% el volumen de residuos en su interior. Ejerce una presión máxima de 1500 kg (Mil-tek, 2018).

La empresa *Miltek* tiene también compactadores especializados en latas de aluminio. Esta máquina es la 2101 y puede compactar latas de hasta 30L ejerciendo una presión de 2250 kg (Mil-tek, 2018).



Figura 7. Imagen de la *Miltek XP-200S* (Mil-tek, 2018)

1.6.3.3. HSM PET PF

La *HSM PET PF* es una máquina de la marca *HSM* la cual precompacta y perfora botellas PET de hasta 2'5L de capacidad para un posterior compactado en conjunto con otras botellas. Esta máquina trabaja con un sistema mecánico distinto a los anteriores (Asturalba Iberia, S.L., 2018).

Compacta y perfora las botellas mediante dos rodillos horizontales colocados en paralelo, como puede apreciarse en la figura 8, los cuales, mediante su geometría, giro en sentido contrario y púas incorporadas consiguen expulsar las botellas preparadas para ser compactadas en bloque.

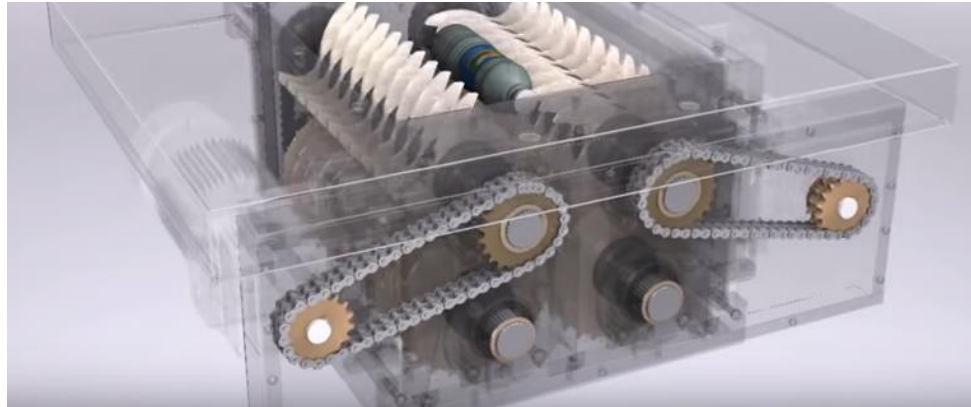


Figura 8. Simulación del sistema mecánico de la HSM PETPF (Asturalba Iberia, S.L., 2018)

Del análisis anterior pueden sacarse conclusiones en cuanto a diseño y funcionamiento para ser aplicadas al proyecto. Se ha podido determinar también, que en el mercado de compactadores de envases para el hogar existen ya productos con una idea de diseño similar a la que se expone en este proyecto, aun así, sigue siendo una necesidad poco cubierta. Además, los contenedores existentes tienen un precio de venta muy elevado.

Analizando algunos ejemplos de compactadores urbanos e industriales se han obtenido ideas que, aplicadas al posterior *brainstorming* para el diseño del producto, pueden dar un valor añadido al proyecto y a su funcionalidad y utilidad para el usuario.

1.7. Requisitos de diseño

En la tabla siguiente se estipulan los requisitos de diseño que se deben cumplir en el producto:

Característica	Descripción
Función principal	Conseguir compactar los envases especificados en el manual del usuario.
Dimensiones	La altura de la boca lateral de entrada de envases no deberá superar el 1'10 m de altura para cumplir con la UNE 41500.
Materiales	Deberán ser materiales lo suficientemente resistentes como para soportar, durante un largo período, las fuerzas y sollicitaciones que se darán durante el proceso. Los elementos en contacto con los envases deberán ser de materiales no corrosivos ya que pueden estar en contacto con líquidos.
Velocidad	El proceso de compactado completo no deberá durar más de 30 segundos.
Fuerza	El mecanismo deberá poder ejercer la fuerza mínima para compactar todos los envases especificados en el manual.

Energía	Deberá tener como fuente de alimentación la red doméstica de baja tensión.
Sonoridad	Deberá ser un producto poco ruidoso ya que se situará en zonas residenciales. Según la Ley 30/2003 del ruido y el Libro VI de la Ley de Gestión Ambiental, un producto en zona residencial no debe superar los 50dB diurnos y 40dB nocturnos.
Vibraciones	En la Ley 30/2003 del ruido y el Libro VI de la Ley de Gestión Ambiental, se determinan las vibraciones máximas que podrá transmitir el equipo al edificio durante el día y la noche.
Seguridad	El producto deberá ser seguro para su uso, para ello su diseño deberá regirse por la norma UNE 12100 de seguridad en máquinas.
Ergonomía	Las manijas de las puertas deberán tener un diseño ergonómico, de forma redondeada, deben poder accionarse con una sola mano y deben ser de un color distinto al de la puerta. Estas especificaciones se recogen en la UNE 170001-1:2007.
Mantenimiento	Deberá adjuntarse las instrucciones de mantenimiento en el manual del usuario. De todos modos, debe ser un mantenimiento rápido y sencillo.
Estética	Deberá considerarse la estética del diseño exterior debido a que es un producto que se situará en viviendas. Se requiere un diseño que permita situarlo en distintos lugares de la vivienda. Los usuarios le dan poca importancia.
Precio	El producto deberá tener un precio competitivo y lo más bajo posible. Es importante tener en cuenta el precio ya que según la encuesta es uno de los puntos que más importancia le da el usuario.

Tabla 3. Listado de los requisitos de diseño del proyecto.

CAPÍTULO 2. Desarrollo del diseño mecánico del producto

2.1. Introducción

Una vez analizada la situación actual del mercado y determinados los requerimientos del producto, se está en disposición de iniciar el proceso de diseño del contenedor.

El primer paso para el diseño del contenedor compactador es determinar el sistema de compactación idóneo para las necesidades del proyecto. Para ello se realizarán los ensayos pertinentes para determinar las fuerzas y sollicitaciones que deberá superar y soportar el mecanismo. Siguiendo la metodología *agile* (Blanqué Molina, 2017), la cual aboga por un diseño más práctico que teórico, se diseñará un prototipo muy básico para determinar la fuerza máxima a superar por el mecanismo. Para ello, se hará una recogida de envases lo más amplia posible para realizar tantas pruebas y ensayos sean necesarios para la validación de resultados.

Una vez se disponga de los datos anteriores se podrá hacer un listado de posibles mecanismos que, por capacidad, serían válidos para esta aplicación. Cuando se hayan listado los mecanismos a estudiar, mediante una tabla comparativa, se determinará el mecanismo adecuado según los requisitos de producto recogidos en el primer capítulo. También se deberán realizar los estudios y cálculos necesarios para dimensionar cada componente y sus características, cumpliendo siempre las normativas.

El siguiente paso, será el diseño y modelaje del contenedor en 3D con el software NX11, permitiendo así también la obligada realización de los planos constructivos. Con el programa NX11 se podrá tener una visión virtual pero cercana a la realidad del producto, lo que permitirá detectar errores de diseño no apreciables sin tener una visión del producto ensamblado. Hasta este punto llega el alcance del proyecto que se trata. El paso siguiente que se debería dar sería la realización de un prototipo funcional del producto, con su diseño final, y realizar pruebas tanto de falla de materiales como de funcionamiento del contenedor. Obviamente esta fase final del desarrollo no se realiza en este proyecto por falta de financiación ya que, como se detalla en el presupuesto del proyecto en el capítulo 6, se trata de un prototipo fuera del alcance de cualquier proyecto sin financiación.

2.2. Determinación de la fuerza máxima a realizar por el mecanismo

Para poder realizar la decisión, diseño y dimensionado del mecanismo a utilizar en el compactador, es un primer paso obligado determinar la fuerza máxima que deberá superar el mecanismo de compactación en los casos críticos.

El ensayo, realizado íntegramente por los miembros del grupo, se constituyó de dos pruebas diferentes. La primera fue un ensayo de aproximación y la segunda una más precisa con los envases críticos.

Debido a que la universidad no dispone de una maquinaria específica para la medición de fuerzas de compresión, se utilizó un trípode de los laboratorios de resistencia de materiales de la EPSEVG el cual está destinado al cálculo de deformaciones en galgas extensiométricas mediante fuerzas de tensión. El trípode se constituye de tres partes: la zona donde se coloca la galga, que en este caso no se utilizó; el soporte de los discos de pesos y el contrapeso para equilibrar el soporte. Para realizar los cálculos necesarios para el proyecto se improvisó una prensa rudimentaria con el soporte donde se sitúan los discos de pesos con los que se ejerce la fuerza de tensión sobre la galga. Este ensayo, como se ha comentado, no era del todo preciso debido a que la maquinaria no era la adecuada, aun así, era muy útil realizar esta prueba debido a que, al tener tantos tipos de envases distintos para compactar, se pudo realizar una criba inicial.



Figura 9. Fotografía del ensayo que se llevó a cabo para determinar los envases críticos

La segunda prueba se realizó utilizando un prototipo inicial de una prensa horizontal. Dicho prototipo fue construido por los propios estudiantes y se presenta más en profundidad en el apartado 2.4.3. El cálculo de las fuerzas en esta segunda prueba es mucho más preciso debido a que se instaló en el prototipo una galga extensiométrica de alta precisión proporcionada por el tutor. La ficha técnica de dicha galga se presenta en el anexo 3.1. En la tabla 4 se pueden observar los envases que se utilizaron para esta prueba.

La condición que se ha impuesto para validar los valores de la fuerza mínima es que se consiga reducir un 75% del volumen del envase en la situación indicada.

A continuación, se muestra la tabla 4 con los resultados del ensayo obtenidos. Los resultados de esta tabla son los valores medios de todos los ensayos realizados con cada envase que se encuentran en el anexo 1.1.

Envase	Ø inicial (mm)	Ø final (mm)	L inicial (mm)	L final (mm)	Fuerza (N)
Botella 1'5L PET	85	22	-	-	392'3
Garrafa 5L PET	150	37	-	-	411'9
Lata 330mL de aluminio (compresión axial)	-	-	115	19	480'5
Lata 330mL de aluminio (compresión radial)	65	13	-	-	1530'2
Brik 1L (posición abatido)	-	-	170	42	294'2
Brik 1L (posición vertical)	-	-	95	23	490'3
Bote de salsa PET (posición abatido)	-	-	140	36	588'4
Bote de salsa PET (posición vertical)	-	-	75	17	441'3
Botella 2L HDPE	105	26	-	-	392'3

Tabla 4. Valores medios de la fuerza mínima para comprimir los envases indicados.

Donde:

Ø inicial: Diámetro inicial de la zona de diámetro más grande en los envases cilíndricos [mm]

Ø final: Diámetro final de la zona de diámetro más grande en los envases cilíndricos [mm]

L inicial: Longitud inicial de la arista más larga del envase en la posición indicada (vertical o abatida). La compresión será en el sentido de dicha arista. [mm]

L final: Longitud final de la arista más larga del envase en la posición indicada. [mm]

Fuerza: Fuerza mínima necesaria para comprimir el envase en la situación indicada con las condiciones indicadas. [N]

Se puede observar en la tabla 4, que el caso más crítico, tal y como se había supuesto en el apartado 1.4., es la compresión radial de latas de aluminio para la cual se requiere mínimo 1530N, según estos datos.

En el caso de las latas no se pudo utilizar la galga extensiométrica para determinar estos valores ya que tenía un límite de 50kg de fuerza (Utilcell Modelo 620, 2018). Y el método usado en el laboratorio tampoco era del todo preciso para el cálculo. Por eso mismo, se han cogido datos de otro estudio dónde, con una maquinaria adecuada, se realizaba el mismo ensayo con latas de aluminio (Baltuano Parra, 2013). En este estudio se determina que la fuerza máxima necesaria para compactar una lata de refresco está cerca de los 2100N. Al ser un estudio externo se ha decidido poner el valor máximo en este proyecto en 2500N para asegurar el funcionamiento de este.

2.3. Decisión del mecanismo a utilizar

Una vez se dispone de los datos de fuerza máxima que debe realizar el mecanismo, se puede iniciar el proceso de decisión del mecanismo a utilizar para superar dicha fuerza.

Con el estudio de mercado del primer capítulo, se ha recogido un listado de diferentes mecanismos y métodos de compactación, tanto a nivel urbano como industrial. En este proyecto no se pretende desarrollar un nuevo mecanismo de compactación por lo que se adaptaran los mecanismos, o partes de ellos, que sean más adecuados para la aplicación que se presenta.

Inicialmente se han planteado dos tipos de mecanismos: compactación mediante una prensa lineal y compactación con rodillos. Son los dos mecanismos más comunes para la compactación de envases, siendo la prensa el mecanismo más común dentro de los compactadores domésticos.

2.3.1. Matriz de decisión

Dada la alta variedad de mecanismos con los que se cuenta es necesario realizar una matriz de decisión la cual ayudará a la correcta decisión del mecanismo. Dicha matriz se realizará teniendo en cuenta la lista de requerimientos del proyecto y los extraídos de las encuestas.

De la encuesta, se han extraído los parámetros de diseño relacionados con el mecanismo a los que más importancia le daban los potenciales usuarios encuestados. La estética o el hermetismo de olores eran dos de los parámetros a los que menos importancia se les daba y además no tienen implicación directa en la selección del mecanismo, por lo que quedan excluidos de esta matriz. Por otro lado, como se ha comentado anteriormente, los parámetros de diseño del mecanismo a los que más importancia dan los usuarios son el precio, la funcionalidad, el consumo, la automatización, el espacio y el ruido, por este orden de importancia. Además, se ha añadido el parámetro del mantenimiento, el cual no se había tenido en cuenta en la encuesta, pero es lo suficientemente importante como para incluirlo.

En el caso de la prensa puede estar accionada por un motor eléctrico, por un pistón neumático. Todas estas opciones se recogen en la tabla 5.

Una vez otorgados el valor de la ponderación de cada parámetro según la importancia que le da el usuario, se ha valorado cada parámetro de cada mecanismo con una valoración de 1 a 5.

Mecanismo	Funcionalidad	Consumo	Espacio	Ruido	Precio	Mantenimiento	Automático	
	20%	15%	10%	5%	30%	5%	15%	
Motor eléctrico con rodillos lisos activados por correas	2	4	5	4	2	5	5	3'30
Motor eléctrico con rodillos de púas activados por correas	4	4	5	4	1	5	5	3'40
Pistón neumático	5	4	3	1	4	2	5	4'00
Pistón hidráulico	5	2	2	3	1	1	5	2'75
Motor eléctrico con husillo trapezoidal	5	2	3	4	5	4	5	4'25
Motor eléctrico con husillo de bolas	5	5	3	4	4	4	5	4'40

Tabla 5. Tabla comparativa de los distintos tipos de mecanismos planteados.

Los resultados que se obtienen de la tabla de decisión anterior es que, para la aplicación que se estudia, el tipo de accionamiento que se requiere es el accionamiento por motor eléctrico. Y, entre los tipos de mecanismo para el motor eléctrico que se proponían, el que obtiene una mejor valoración es el husillo de bolas. El husillo de bolas es el accionamiento de la prensa horizontal. En el caso de haberse seleccionado los rodillos, estos sustituirían el mecanismo de la prensa.

El mecanismo de husillo de bolas tiene un rendimiento muy elevado en cuanto a la potencia útil con la que trabaja, ya que el sistema de recirculación de bolas reduce las pérdidas por fricción hasta solamente un 5-10%, mientras que en un husillo trapezoidal dichas pérdidas son cercanas al 50%.

2.4. Diseño del contenedor compactador

2.4.1. Descripción de la máquina

En este apartado se realiza una explicación general del mecanismo escogido y diseñado en el proyecto con el objetivo de que, al entrar en detalle de cada parte de este, se pueda comprender íntegramente el mecanismo que se trata y el porqué de cada componente y su diseño.

Mediante la tabla del apartado anterior se ha podido determinar que el mecanismo más adecuado será una prensa horizontal alimentada por un motor eléctrico, el cual se estudiará profundamente más adelante, ya que es uno de los componentes más importantes para la eficiencia y buen funcionamiento del producto. A parte, en la tabla comparativa, se puede observar como el accionador de husillo de bolas es el que mejor rendimiento dará a la aplicación que se trata, por este motivo se ha seleccionado este accionador.

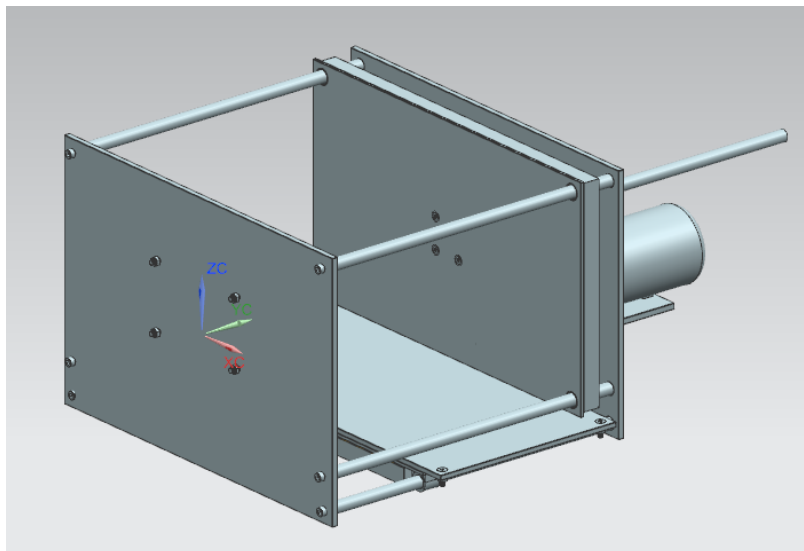


Figura 10. Imagen 3D de la prensa.

Como se puede observar en la figura 10, el mecanismo de prensado estará formado por tres placas rectangulares, las dos de los extremos de las mismas dimensiones exteriores. La placa distinta será la deslizante, la cual tendrá un diseño distinto a las otras dos debido a que deberá soportar los esfuerzos y sollicitaciones del proceso de compactado. Las otras dos placas, servirán como soporte de las guías cilíndricas. Una de las placas también servirá como prensa fija para poder compactar los envases.

Para el diseño de dichas placas, deberá lograrse el equilibrio ideal entre lo económico y útil. Debe conseguirse un diseño barato, ahorrando material, pero con un diseño que permita garantizar que la placa soportará los esfuerzos que reciba en el proceso de compresión.

La placa móvil requiere de un sistema de guiado el cual permita el movimiento de ésta garantizando su correcto desplazamiento lineal, sin permitir que éste pueda verse alterado a causa de las fuertes presiones que se ejercerán en el interior de la zona del compactado. El sistema de guiado estará constituido por cuatro guías cilíndricas atravesando la placa móvil por cada una de sus cuatro esquinas, y fijadas en sus extremos en dos placas fijas, como se ha comentado anteriormente. Se han escogido guías cilíndricas ya que es el utilizado en prácticamente la totalidad de casos estudiados, y en el punto 2.4.5., se detalla su cálculo y dimensionado, así como su proceso de selección.

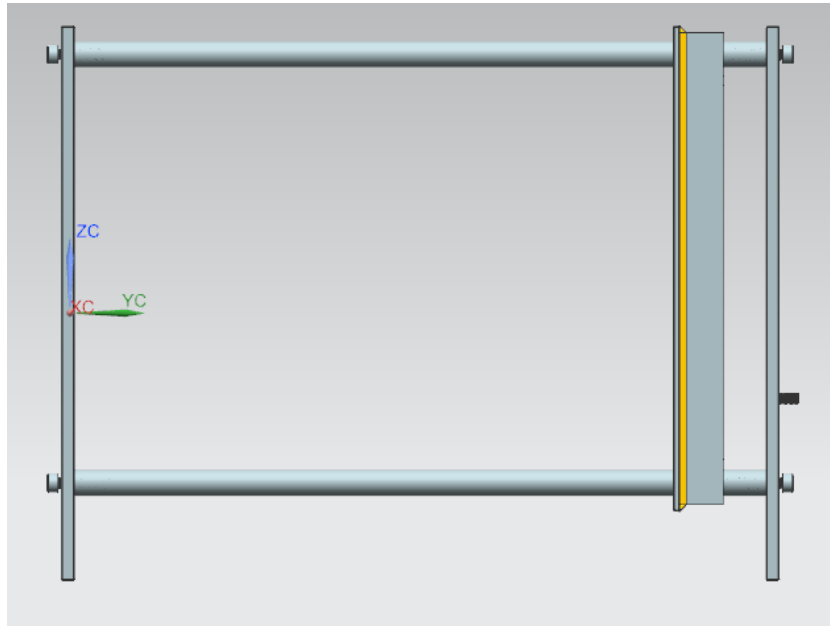


Figura 11. Vista lateral del sistema de guiado de la prensa.

Cuando el proceso de comprimir el envase ha finalizado, éste debe poder ser expulsado de la zona de compactación de la forma más rápida y sencilla posible. Tras barajar varias opciones se ha decidido introducir una compuerta motorizada horizontal, la cual se abra una vez haya finalizado la compresión y el envase caiga por el efecto de la gravedad hacia el cubo de basura. La prensa liberará el envase, es decir, iniciará su retroceso, una vez la compuerta inferior se haya abierto, garantizando así su caída al cubo. Esta compuerta se mueve a través de dos guías cilíndricas al igual que la prensa.

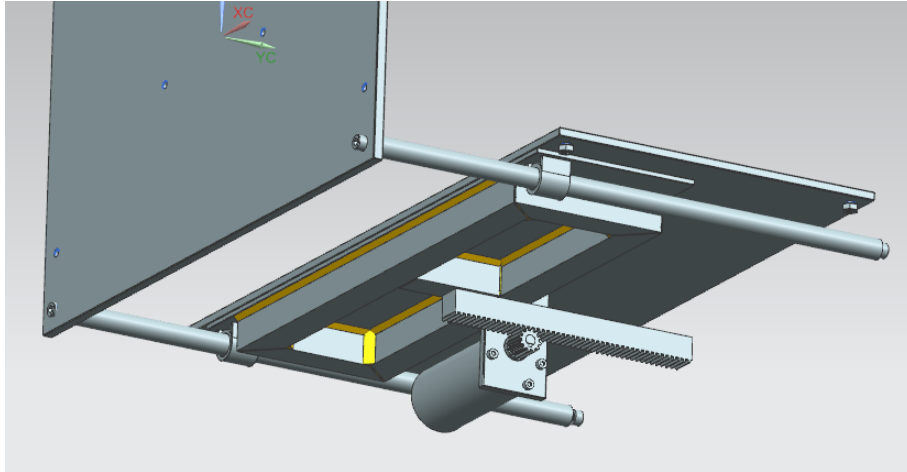


Figura 12. Imagen 3D de la compuerta de expulsión de los envases compactados.

Todas las dimensiones del mecanismo tanto de compactación como de expulsión estarán estudiadas para los casos críticos para así evitar atascos de envases o malos funcionamientos. Aun así, en las máquinas, nunca se tienen todas las variables controladas y pueden surgir problemas no previstos. Por eso es necesario la instalación de un sistema electrónico con diversos sensores que ayuden a reducir al mínimo este tipo de situaciones. En el caso de la expulsión de los envases, es imprescindible la inclusión de un sensor que detecte que el envase ha caído al cubo. En caso de no detectarlo, el mecanismo volvería a realizar una segunda compactación, si tras este segundo recorrido sigue sin ser detectado el sensor emitirá una señal al usuario avisando de que el mecanismo se encuentra obstruido.

Como en cualquier máquina se debe garantizar la total seguridad tanto del usuario como del operario. Al tratarse de una máquina peligrosa, ya que la prensa puede herir de gravedad a una persona, debe procurarse que el contacto del usuario con el sistema de prensado accionado sea imposible. Para ello se recubre el mecanismo con una carcasa de material a definir y se colocan sensores y sistemas de seguridad detallados en el capítulo 3.

2.4.2. Funcionamiento del contenedor

A continuación, se detallará paso a paso el funcionamiento del producto en cada una de sus fases, tanto en los momentos en los que el usuario interactúa con el cómo el funcionamiento interno de la misma.

1.1. Funcionamiento para el usuario

- 1) El usuario retira el tapón de los envases que lo lleven antes de depositarlo en el contenedor.
- 2) El usuario abre la compuerta indicada por la que se depositará el envase.
- 3) El usuario deposita el envase según las especificaciones del manual.
- 4) El usuario cierra la compuerta.

- 5) El usuario pulsa el botón con el cuál se activa el prensado. Si el botón se pulsa antes de cerrar la compuerta no se iniciará el prensado en ningún caso.
- 6) El usuario debe esperar a que termine la compactación para volver a abrir la compuerta.
- 7) El usuario depositará el resto de los residuos que no requieran compactación por la compuerta inferior. Esta acción puede realizarse, aunque esté funcionando la prensa.
- 8) Una vez la prensa ha vuelto a su posición inicial y el envase comprimido ha caído al cubo inferior, el usuario puede volver a abrir la compuerta para introducir un nuevo envase.
- 9) Cuando el cubo inferior esté lleno, el usuario recibe un aviso. Abriendo la compuerta grande inferior el usuario tiene acceso al cubo para así cambiar la bolsa.

1.2. Funcionamiento interno de la máquina

- 1) Cuando la compuerta se abre para introducir el envase, el sensor Reed comunica al microcontrolador que la compuerta está abierta por lo que no es posible que se active el prensado.
- 2) Una vez el usuario ha introducido el envase, ha cerrado la compuerta y ha pulsado el botón de inicio, el sensor Reed comunica que la compuerta está cerrada y el interruptor de inicio activa el proceso.
- 3) Al activar el botón también se activa el seguro de la compuerta lo que impide que esta se abra. En caso de que se consiguiera abrir, el sensor Reed lo comunicaría al sistema y el prensado se detendría inmediatamente.
- 4) Cuando se inicia el proceso se ilumina la señal luminosa de "Proceso en marcha".
- 5) Se inicia el prensado del envase.
- 6) La prensa avanza hasta que la intensidad que está aplicando el motor es igual a 10A, en ese momento se detiene el avance.
- 7) En el caso de que el prensado sea defectuoso o el envase introducido no sea el adecuado y no pueda prensarse correctamente, un sensor de corriente detectará un sobreesfuerzo del mecanismo lo que le hará detener el avance.
- 8) Una vez el avance ha terminado, se inicia la apertura de la compuerta de expulsión del envase la cual permite que este caiga al cubo.
- 9) Cuando la compuerta de expulsión ha terminado de abrirse, el motor gira en sentido contrario haciendo que la prensa retroceda a la posición inicial y libere el envase.
- 10) Una vez la prensa ha llegado a su posición inicial, la compuerta de expulsión inicia su retroceso hacia la posición de reposo.
- 11) Cuando los dos motores se detienen, se desconecta el sistema de seguridad y se enciende la señal que indica que puede volverse a utilizar.

2.4.3. Fabricación de un prototipo inicial

Siguiendo la metodología del *Design Thinking*, una vez se ha empatizado con el potencial usuario, se ha definido un problema a resolver y se ha ideado una posible solución, el siguiente paso es el del prototipar. La realización de un prototipo es un paso muy útil, incluso a veces estrictamente necesario, para verificar el funcionamiento de algo que se ha ideado, ya que, no todo funciona como se observa sobre el papel. Un prototipo en un proyecto como este puede ayudar a detectar problemas de funcionamiento o diseño que no se aprecian hasta que la idea no se traslada a algo tangible.

Para el desarrollo óptimo de este proyecto, el procedimiento ideal sería realizar un prototipo por cada paso que se de en el proyecto para de esa manera verificar todo el diseño paso a paso. Obviamente, en un proyecto sin financiación y con un tiempo limitado de desarrollo ese proceso es inviable. En este caso, se ha decidido realizar un primer prototipo inicial, con un diseño alejado a lo que sería el producto final, pero que tiene una gran utilidad. Además, el objetivo del proyecto es preparar y definir el camino para la realización de un prototipo funcional del cual se pudiesen extraer conclusiones definitivas para una hipotética fabricación de la máquina. Pero, por la falta de financiación, no se materializará este prototipo.

Este primer prototipo tiene como objetivo principal analizar cómo se compactan los diferentes envases, es decir, analizar cómo reaccionan a una compactación provocada por una prensa horizontal, como se deforman, como quedan compactados, etc. Además, el prototipo será utilizado para, como se comentó en el apartado 2.2., determinar la fuerza máxima que deberá ejercer el mecanismo.

El prototipo se ha fabricado en los talleres de prototipaje de la universidad y el material utilizado ha sido madera, una barra roscada emulando al husillo y tornillos. El diseño es muy básico, solamente se plasma la idea de una prensa horizontal accionada mediante un husillo. El sistema de guiado, para abaratar costes y simplificar el prototipo, no se ha realizado con cuatro guías cilíndricas, sino que la prensa se deslizará sobre dos guías prismáticas.



Figura 13. Fotografía del prototipo de madera terminado.

Las conclusiones en cuanto al diseño que se pudieron extraer de este prototipo fueron limitadas, aun así, se pudo comprobar que una prensa horizontal era capaz de comprimir de forma adecuada todos los envases con los que se ensayó. Por otro lado, se verificó que son necesarias cuatro guías para la prensa, ya que con solamente dos guías la prensa se torcía al empezar la compactación. Pero como se ha comentado anteriormente, las principales funciones del prototipo era la de tomar los datos de la fuerza necesaria de una forma más precisa y analizar el comportamiento de los envases al ser compactados por una prensa.

Para la determinación de la fuerza se instaló una galga extensiométrica modelo 620-A50 de la empresa *Utilicell*, la cual mide de forma muy precisa la fuerza que recibe midiendo sus propias deformaciones. En el anexo 3.1 se encuentra la ficha técnica de la galga. La galga además requería de una fuente de alimentación, así como de un dispositivo de lectura, por lo que se tuvo que instalar también junto con esos componentes suministrados por la universidad. Con este ensayo se obtuvieron los resultados expuestos en el punto 2.2. En cuanto al comportamiento de los envases, se compactaron con el prototipo todos los envases posibles. Se obtuvieron datos de medidas finales y se observó cómo se deformaba cada envase, para así, determinar las medidas mínimas de la cavidad de expulsión de los envases, así como las medidas de la cámara de compactación.



Figura 14. Fotografía del prototipo con la galga 620-A50 instalada para tomar datos.

2.4.4. Elección del actuador lineal

El sistema mecánico de transformación de movimiento que se ha determinado como más adecuado, es el de husillo con recirculación de bolas. Este mecanismo es un actuador lineal caracterizado por sus sumamente bajos niveles de pérdidas por fricción (tienen una eficiencia alrededor del 90% dependiendo del modelo) (Wikipedia, 2018). Se compone del husillo y una tuerca, y el movimiento entre ambos se produce por la circulación de bolas a través de los carriles del husillo, como se puede observar en la figura 15. Este tipo de husillos permiten una mayor precisión, mayor velocidad y mayor capacidad de soportar altas cargas debido a su sistema de recirculación de bolas. Por estos motivos, son los más utilizados en fabricación de maquinaria. Aunque para esta aplicación no se requiera gran precisión en el movimiento, sí que es importante la capacidad de soportar altas cargas de trabajo axiales y, sobre todo, es importante obtener un mecanismo rápido. El hecho de que proporcione una mayor precisión del mecanismo también ayuda a minimizar el desgaste del sistema de guiado.

En el mercado se pueden encontrar muchos tipos de husillo de bolas con distintos diámetros, pasos, montajes, etc. Para determinar cuál es el más adecuado para el proyecto, se han observado diferentes tipos de máquinas, no solo de prensas, en las que se utilizará un husillo para transmitir fuerza y movimiento. En casi todas estas aplicaciones se utilizan husillos de bolas, aunque, debido a su elevado precio, también se han estudiado los husillos trapezoidales estándar que, a pesar de que en la tabla comparativa del apartado 2.3.1 los situaba por detrás de los de bolas, se ha decidido estudiarlos también para comprobar si la hipótesis realizada con los husillos de bolas es correcta y si compensa el elevado precio de estos últimos.



Figura 15. Imagen del interior de un husillo con recirculación de bolas (Tecnopower, 2018)

2.4.4.1. Dimensionado del husillo de bolas

Debido a la gran cantidad de empresas fabricantes de este tipo de mecanismo, se puede encontrar una enorme variedad de husillos de bolas con distintas características. Para escoger el husillo ideal para la aplicación y con el precio más ajustado posible, es necesario un dimensionado del mismo. El mejor ejemplar posible es aquel que necesite menos potencia del motor para aportar la fuerza y velocidad necesaria recogidas en los requerimientos. El rango del estudio se ha determinado entre la métrica M8 y la M30, ya que es el rango típico para aplicaciones similares.

Se han realizado unas tablas de cálculos, las cuales pueden consultarse en el anexo 1.2, en las que se exponen los resultados obtenidos con los cálculos que se presentan a continuación. Variando los datos con los valores característicos de cada husillo se obtendrán los resultados para decidir el ejemplar adecuado.

Con los resultados del ensayo de compactado de envases realizado previamente, se fijó la fuerza máxima necesaria del mecanismo en 2500N, necesaria para la compactación de las latas de aluminio, el caso crítico. A esta hay que añadirle la fuerza resistente del sistema de guiado compuesto por cuatro guías lineales cilíndricas, que es de 6N cada una en el arranque y de 2,5N en movimiento, el sistema de guiado se presenta más adelante en el apartado 2.4.8.

Como la compactación se produce cuando la prensa ya lleva en movimiento ciertos segundos, se tiene en cuenta la fuerza resistente en condiciones de movimiento, es decir, los 2'5N. Los valores del rozamiento del husillo y del ángulo entre flancos se obtuvieron de los catálogos de husillos que se han analizado, sabiendo que los husillos de bolas usan barras con rosca trapezoidal ($\alpha_F = 14'5^\circ$), y el coeficiente de fricción del husillo más económico, es decir, considerando el peor de los casos, es de 0,01.

A continuación, se muestran las fórmulas necesarias para determinar el par de avance y retroceso:

$$M_{AVANCE} = F \frac{d_m}{2} \frac{\tan \beta + \frac{\mu}{\cos \alpha_F}}{1 - \frac{\mu \tan \beta}{\cos \alpha_F}} \quad [2]$$

$$M_{RETROCESO} = F \frac{d_m}{2} \frac{\frac{\mu}{\cos \alpha_F} - \tan \beta}{1 + \frac{\mu \tan \beta}{\cos \alpha_F}} \quad [3]$$

Donde:

F: fuerza de compactación. ($F=2500N + (4 \cdot 2'5) = 2510N$) [N]

d_m : diámetro medio ($d_m = \frac{d_{máx} + d_{mín}}{2}$) [mm]

β : ángulo de avance ($\beta = \arctan\left(\frac{\text{paso}}{\pi d_m}\right)$)

α_F : ángulo entre flancos

μ : coeficiente de rozamiento

Una vez se ha determinado el par necesario para la compactación para cada modelo, se debe calcular la velocidad angular necesaria para poder compactar los envases en el tiempo deseado según el requerimiento. Para hallar la velocidad angular:

$$\omega = \frac{x}{t} \frac{2\pi}{p} \quad [4]$$

Donde:

x: desplazamiento prensa. Son los 280mm máximos de recorrido en la zona de compactado [mm]

t: tiempo del compactado completo [s]

p: paso del husillo [mm]

Esta velocidad angular es positiva para el avance y negativa para el retroceso. Utilizando los resultados obtenidos en el cálculo de los pares y de las velocidades angulares, puede determinarse la potencia útil del husillo, tanto para el avance como para el retroceso, de la siguiente forma:

$$P_{U_{avance}} = \omega \cdot M_{avance} \quad [5]$$

$$P_{U_{retroceso}} = -\omega \cdot M_{retroceso} \quad [6]$$

Donde:

$P_{u \text{ avance}}$: es la potencia útil necesaria para el avance [W]

$P_{u \text{ retroceso}}$: es la potencia útil necesaria para el retroceso [W]

ω : velocidad angular del husillo [rad/s]

M_{avance} : momento de avance del husillo [Nm]

$M_{retroceso}$: momento de retroceso del husillo [Nm]

Por último, para obtener la potencia transmitida por el motor, se multiplica la potencia útil de mayor magnitud de cada husillo con el rendimiento del husillo. El rendimiento de los husillos de bolas estudiados varía entre el 0'9 y 0'95 dependiendo del modelo, por otro lado, los rendimientos de los husillos convencionales se fijan en 0'4 ya que es el valor típico y para el análisis realizado sirve este valor. La potencia se determina así:

$$P_{Motor} = \eta \cdot P_U \quad [7]$$

Donde:

P_{Motor} : es la potencia que debe suministrar el motor [W]

P_u : es la potencia útil necesaria para el retroceso y/o el avance [W]

η : rendimiento del husillo de bolas

Finalmente, y tal y como se muestra en la tabla del anexo 1.2, se determina que los dos husillos más adecuados para el proyecto son M12x10 y M16x10, con una P_{MOTOR} máxima de 269,62 W y 272,05 W respectivamente, ambos husillos de bolas. Respecto a los husillos trapezoidales convencionales, los óptimos serían los M11x5 y M22x8, con una P_{MOTOR} máxima necesaria de 620,52 W y 626,61 W respectivamente. Para la obtención de estas potencias teóricas se ha tenido en cuenta un tiempo de ciclo completo de 6 segundos, 3 de ida y 3 de vuelta. Al ser potencias teóricas no se tienen en cuenta los segundos perdidos en arranque y frenado.

Hay una diferencia bastante significativa en cuanto a potencia consumida entre husillo convencional y el de bolas. Por otro lado, también se encuentra una diferencia considerable en el precio de ambos ya que los husillos de bolas tienen un precio medio de 100€, mientras que los husillos convencionales se mueven cerca de los 35€ de media. Otro factor para tener en cuenta es que los husillos trapezoidales convencionales no tienen el paso de rosca tan grande como los de bolas, ni tampoco pueden llegar a una velocidad angular tan alta.

Con los resultados anteriores, el actuador lineal escogido para el proyecto será un husillo de bolas. El hecho del precio tan bajo de los husillos convencionales no compensa la menor funcionalidad, vida útil y potencia necesaria que tiene este tipo de actuador, el husillo de bolas también optimiza la vida útil del resto de componentes del mecanismo como el sistema de guiado. De esta forma también se requiere un motor eléctrico de menores prestaciones. Este estudio corrobora la hipótesis realizada al inicio de este apartado.

De los husillos anteriormente citados, se selecciona el modelo de bolas M12x10, el cual presenta un par de 4,598 Nm necesario para aportar a la prensa los 2500 N. Estos datos se encuentran recogidos en el anexo 1.2. también.

Una vez realizado el estudio anterior, se debe escoger el ejemplar de husillo de bolas a aplicar en el proyecto. Hay diferentes variantes dentro de los husillos de bolas, y para esta aplicación, el que más se ajusta a las necesidades es el husillo cilíndrico con resorte y recirculación interna de bolas. Las ventajas de este modelo son la forma de su hembra, que permite unir el engranaje al husillo con 4 uniones, lo que proporciona la capacidad de acoplarlo a un sistema reductor sin necesidad de un nuevo equipamiento.



Figura 16. Representación 3D de un husillo de bolas cilíndrico con resorte, óptimo para ser aplicado en el proyecto (Tecnopower, 2018)

La otra característica que destacar es la recirculación interna de bolas. Esto permite que sea la hembra la que realiza el movimiento rotatorio, y la barra roscada la que se traslada linealmente. Algo que en este caso es necesario para el acople del motor ya que es la barra la que debe moverse a través de la hembra y no al revés.

2.4.4.2. Selección del modelo del husillo de bolas

Basando la decisión en los datos obtenidos con el estudio anterior y realizando una comparación de catálogos de distintos fabricantes, el ejemplar escogido para el proyecto es el husillo M12x10 del fabricante THOMSON, cuyo distribuidor en España es Bibus Spain. El husillo es del tipo cilíndrico con resorte y recirculación de bolas, y la barra tiene 30 mm de zona roscada, con un agujero roscado M5x0,8 y 20 mm de profundidad de fábrica en uno de sus extremos y un rendimiento del 90% (Thompson Linear Motion, 2018). En el extremo del agujero roscado, se realizará un mecanizado posterior de torneado para rebajar el diámetro a 10mm, además de darle forma de cono al extremo, con un ángulo de 45° para su unión a la placa. El cálculo de este ángulo mínimo se encuentra en el apartado 2.4.5.

Las referencias del fabricante son:

- KGS-1210-023-RH-X-00350, 20-R; para la barra roscada
- KGF-D-1210-RH-00; para la hembra

2.4.5. Diseño de la prensa

Para la parte móvil de la prensa, se requiere una pieza que sea resistente, económica, y que pese lo mínimo posible para reducir el esfuerzo del motor. Con estas premisas, se han realizado varios bocetos con distintas opciones, y al final se ha decidido que esta pieza este formada por una placa fina de acero con una estructura de refuerzo en su parte trasera que permita que la placa pueda soportar las fuerzas generadas en la compactación.

Primero, se obtiene una placa de acero de 3 mm de grosor con unas medidas de 375x224 mm es un milímetro más corta que las placas fijas, para que no roce con el suelo al desplazarse. A esta placa se le suelda un marco hecho con tubos de sección cuadrada de 20x20.

En la parte central de este marco, y de forma vertical, se le sueldan 2 tubos de 40x20. Se puede ver el resultado en la figura 17. Las marcas amarillas son los puntos de soldadura.

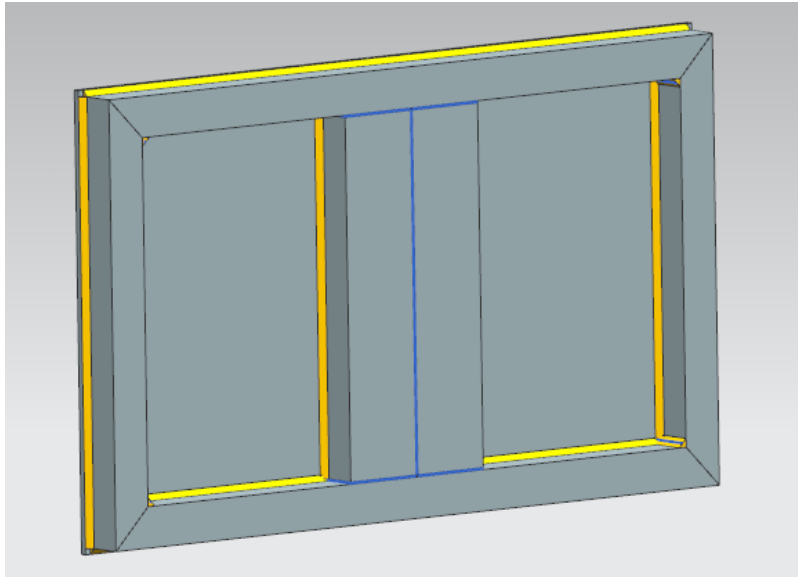


Figura 17. Imagen 3D de la parte trasera de la placa de la prensa.

Una vez soldado, se realizan 4 agujeros pasantes de diámetro 16 mm en los 4 extremos de la pieza. En cada uno de estos 4 agujeros se le suelda un trozo de tubo de $\varnothing_{\text{ext}} = 16$ mm y 1 mm de espesor. Una vez soldados los 4 tubos, se rebajan los sobrantes para que queden alineados con la pieza. Estos tubos servirán como alojamiento a los rodamientos de casquillo que se colocarán para que la prensa pueda desplazarse por las guías. También se mecaniza una ranura en cada tubo para alojar una anilla *Seeger* en cada uno para evitar que los rodamientos puedan desplazarse.



Figura 18. Anilla *Seeger* como la que se colocará para fijar los rodamientos.

Finalmente, se vuelven a repasar los interiores de los tubos, por si se han deformado durante el proceso de soldadura, para que tengan un diámetro interior de 14 mm.

Para acabar la pieza, solo queda mecanizar 4 agujeros pasantes en la parte central de la pieza, para poder unirla con la “Pieza Unión”, presentada en el apartado 2.4.6, y por consiguiente con el mecanismo impulsor de la máquina. A estos agujeros se les mecaniza también un chaflán para la cabeza de los tornillos de cabeza avellanada, para que no entorpezcan el compactado, en su parte frontal, como se aprecia en la figura 19.

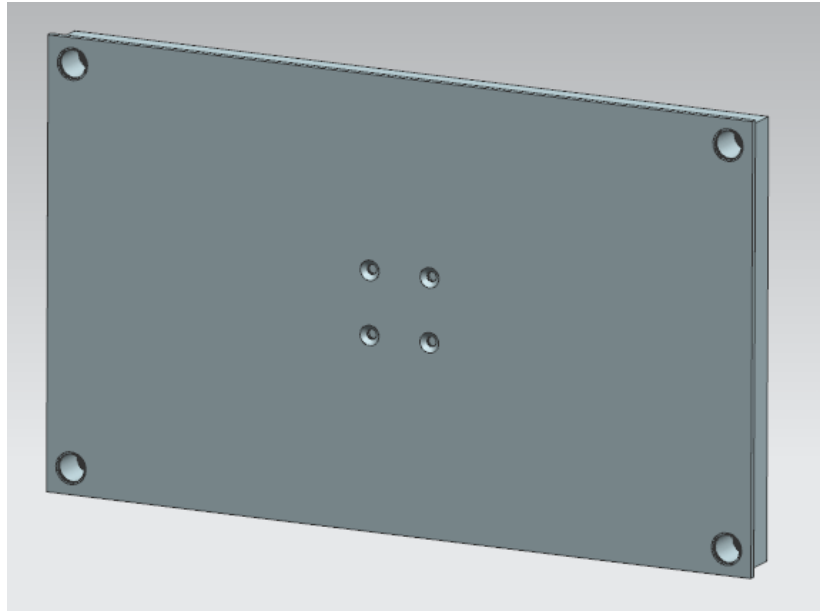


Figura 19. Imagen 3D de la parte frontal de la placa donde se aprecian los agujeros avellanados.

En los tubos traseros, se realiza un agujero de diámetro suficiente para que se puedan collar los tornillos. En la figura 20 se observa el resultado final

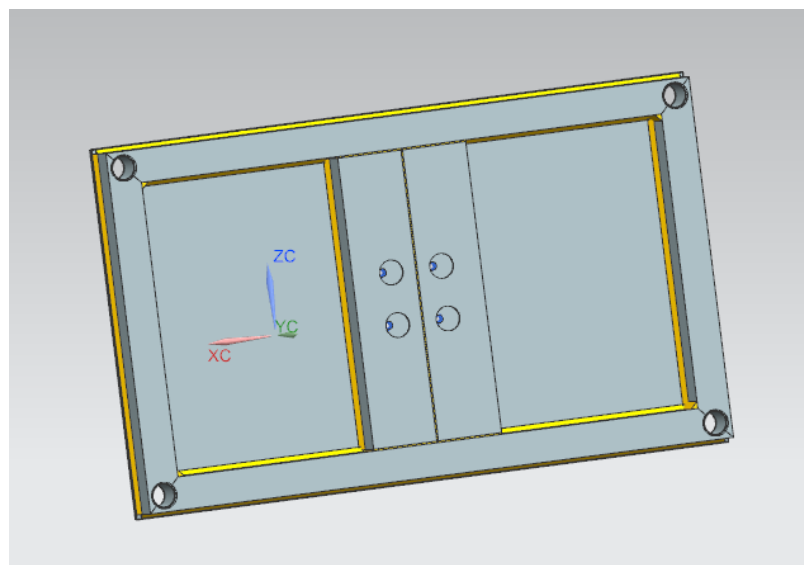


Figura 20. Imagen 3D de la parte trasera de la placa deslizante ya terminada.

2.4.5.1. Cálculo de soldaduras de la placa

Para saber si la pieza va a soportar las tensiones durante la compactación de envases, se realizan los cálculos de las uniones soldadas, ya que son las partes de la pieza más susceptibles a deformarse o romperse. Para simplificar los cálculos, todas las soldaduras se harán del mismo espesor que la más solicitada. Así también queda una pieza más uniforme y de mejor aspecto (Guardiola Villora, 2010).

Primero es necesario calcular la resistencia de la soldadura en ángulo que, en este caso son las perimetrales, por unidad de superficie.

$$f_{vw,d} = \frac{f_u / \sqrt{3}}{\beta_w \cdot \gamma_{M2}} \quad [8]$$

Donde:

$f_{vw,d}$: Resistencia de la soldadura en ángulo por unidad de superficie [MPa]

f_u : Reacción a tracción del acero de las chapas a soldar [MPa]

β_w : Coeficiente de correlación en función del tipo de acero de las piezas a soldar.

γ_{M2} : Coeficiente parcial de seguridad de la unión soldada

De la siguiente tabla se obtienen los valores de β_w y f_u para el acero S235, el que se utiliza en el proyecto (Guardiola Villora, 2010). Como coeficiente parcial de seguridad se usará 1,25.

Acero	f_u	β_w
S235	360	0,80
S275	430	0,85
S355	510	0,90

Tabla 6. Valores de f_u y β_w según el tipo de acero. (Guardiola Villora, 2010)

$$f_{vw,d} = \frac{360 / \sqrt{3}}{0,8 \cdot 1,25} = 207,846 \text{ MPa}$$

A continuación, se calcula cual es el espesor de la soldadura.

$$a \leq 0,7 \cdot e_{min} \quad [9]$$

Donde:

a: espesor de la soldadura [mm]

e_{min} : espesor mínimo de la placa [mm]

En el caso estudiado, el espesor mínimo es el de la placa de 3 mm, así que:

$$a \leq 0,7 \cdot 3 = 2,1 \text{ mm}$$

Por lo tanto, el espesor de la soldadura será de $a = 2 \text{ mm}$.

Finalmente, conociendo la carga soportada, la resistencia de la soldadura por unidad de área y el espesor de la soldadura, solo falta comprobar que las soldaduras de la pieza puedan resistir las solicitaciones del sistema (Guardiola Villora, 2010).

$$F_{w,Ed} \leq a \cdot L_w \cdot f_{vw,d} \quad [10]$$

Donde:

$F_{w,Ed}$: Fuerza que soportará la unión soldada [N]

L_w : Longitud de la soldadura [mm]

$f_{vw,d}$: Resistencia de la soldadura en ángulo por unidad de superficie [MPa]

$$L_w \geq \frac{F_{w,Ed}}{a \cdot f_{vw,d}} = \frac{2500}{2 \cdot 207,846} \rightarrow L_w \geq 6,014 \text{ mm}$$

Como todas las soldaduras son bastante más largas que la longitud mínima, se determina que las uniones soldadas de la pieza aguantaran sin problemas las cargas durante la compactación que soporta la pieza.

2.4.6. Diseño de la unión del husillo con la prensa

En los apartados anteriores, se ha determinado el actuador lineal que proporcionará el movimiento a la prensa para así poder compactar los envases. Pero se debe idear una forma con la que conseguir conectar el husillo con la placa deslizante de la prensa transmitiendo sobre ella únicamente el movimiento rectilíneo del husillo, evitando trasladar también el movimiento circular. Para lograrlo, se ha diseñado una pieza que permite atornillar ambas, y mediante un ajuste cónico autobloqueante, evita la transmisión de la rotación. Esta pieza, denominada “pieza de unión”, se fabrica a partir de un cilindro primario de 60 mm de diámetro y 30 mm de altura.

Primero, a lo largo de 20 mm de altura, se rebaja el diámetro de los 60 mm iniciales a 20 mm, dejando un radio de 5 mm entre los 2 diámetros para evitar la concentración de tensiones producidas por el cambio brusco de sección.

Seguidamente, en la parte de diámetro 60 mm, se le mecanizan 4 agujeros roscados equidistantes de métrica 5, con un fresado en la parte superior para poder situar la cabeza de los tornillos Allen M5x0.75, que unirán esta pieza con la placa deslizante de la prensa. De la misma manera, se le mecaniza otro agujero de diámetro 5 mm pasante y su fresado para la cabeza del tornillo Allen en el centro de la pieza, pero esta vez con el fresado en la parte inferior, tal y como se aprecia en la figura 21. Este tornillo une la barra roscada del husillo con la pieza.

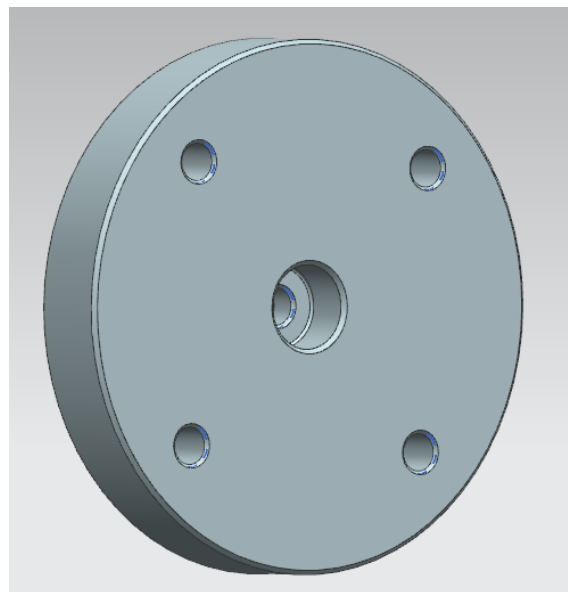


Figura 21. Imagen 3D de la pieza de unión donde se aprecian los agujeros realizados.

En la parte superior de la sección de diámetro 20 mm, se le realiza un agujero de 10 mm de diámetro y 15 mm de profundidad. Se observa en la figura 22 la otra parte de la pieza con este nuevo agujero. Se aprecia también el radio que se le realiza para evitar la concentración de tensiones en el cambio de sección entre ambos diámetros.

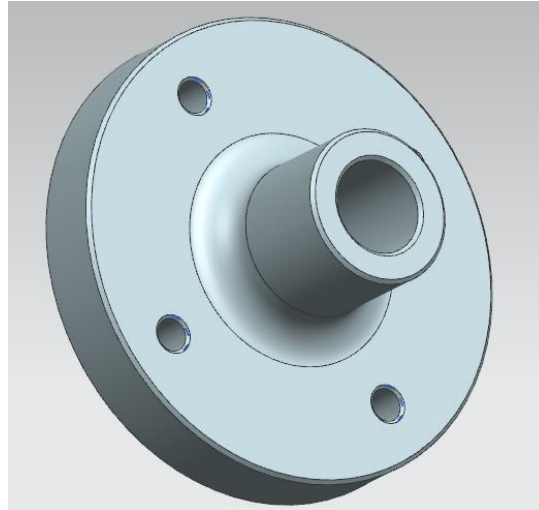


Figura 22. Imagen 3D de la otra cara de la pieza unión.

Para acabar, se mecaniza una cara cónica en su interior, para así evitar la rotación del husillo respecto a la pieza, y así transmitir la fuerza únicamente de forma lineal. En la figura 23 puede observarse un ejemplo de embrague cónico, caso muy similar al que se aplica en el proyecto.

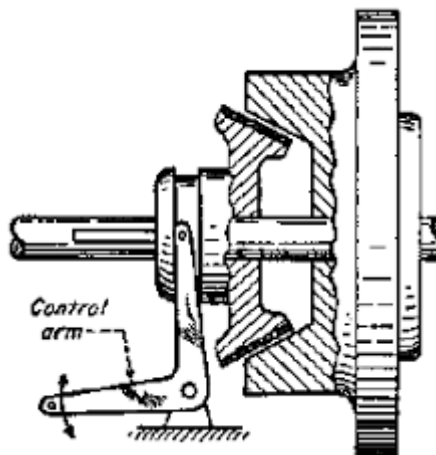


Figura 23. Representación de un embrague cónico.

A continuación, se presenta el cálculo del ángulo mínimo necesario para que este sea un inserto cónico autobloqueante.

2.4.6.1. Cálculo del inserto cónico autobloqueante

En el caso de la unión entre la barra roscada y la pieza, uno de los datos necesarios que se conoce es el par de torsión máximo que debe soportar dicha unión, que en este caso es de 4,6 Nm. También son conocidos los diámetros interior y exterior del cono que son 5 y 10 mm respectivamente, y que la fuerza que se sujetan es la de montaje del propio tornillo que los une. Esta fuerza se obtiene con la ecuación siguiente:

$$F_M = \frac{\sigma_y \cdot A_T}{1,35 \cdot FS} \quad [11]$$

Donde:

σ_y : Tensión admisible del tornillo [MPa]

A_T : Área resistente del tornillo [mm]

FS: Factor de seguridad

El tornillo utilizado para la unión se trata de un tornillo M5x0.75 de calidad 8.8, y será una unión de calidad estándar, se conocen todos los datos para calcular la fuerza de montaje utilizando la ecuación [11]:

$$F_M = \frac{640 \cdot 14,2}{1,35 \cdot 1,1} = 6119,87 \text{ N}$$

Conociéndose ya la fuerza con la que trabajará la unión cónica, y las medidas del propio cono, solo falta encontrar el ángulo. Para ello, se aísla el ángulo de la ecuación que le relaciona con el par de torsión, los diámetros y la fuerza de montaje:

$$T = \frac{F_M \cdot \mu}{3 \sin \alpha} \cdot \frac{(D^3 - d^3)}{(D^2 - d^2)} \quad [12]$$

Donde:

T: Par de torsión [Nmm]

F: Fuerza de montaje [N]

μ : Coeficiente de fricción (Avallone, y otros, 1995)

α : Ángulo del cono

D: Diámetro exterior del cono [mm]

d: Diámetro interior del cono [mm]

$$\alpha = \sin^{-1} \left[\frac{F_M \cdot \mu}{3 \cdot T} \cdot \frac{(D^3 - d^3)}{(D^2 - d^2)} \right] = \sin^{-1} \left[\frac{6119,87 \cdot 0,15}{3 \cdot 4600} \cdot \frac{(10^3 - 5^3)}{(10^2 - 5^2)} \right] = 50,9^\circ$$

El ángulo obtenido es de 50'9°, pero, siguiendo las explicaciones de Richard G. Budynas y J. Keith Nisbett en el libro *Diseño en ingeniería mecánica*, el ángulo que se mecanizará será de 45°. Al mecanizar con un ángulo de 45° se obtiene algo más de superficie respecto a un mecanizado de 50'9°, esta superficie extra permite que exista más rozamiento y, por lo tanto, es más restrictivo en el momento de evitar la rotación (Budynas, y otros, 2008). Solo queda volver a usar la ecuación [12] para calcular el par máximo que puede soportar el embrague cónico autobloqueante con el nuevo ángulo, y su factor de seguridad.

$$T_{MÁX} = \frac{F_M \cdot \mu}{3 \sin \alpha} \cdot \frac{(D^3 - d^3)}{(D^2 - d^2)} = \frac{6119,87 \cdot 0,15}{3 \sin 45} \cdot \frac{(10^3 - 5^3)}{(10^2 - 5^2)} = 5048,64 \text{ Nmm}$$

$$FS = \frac{T_{MÁX}}{T} \quad [13]$$

$$FS = \frac{5048,64}{4600} = 1,098$$

Se concluye que con el ángulo de 45° se obtiene un par máximo lo suficientemente seguro como para aplicarlo en el proyecto. Por lo tanto, el mecanizado final que se realiza en el extremo de husillo se tratará de un cono partido de 45°, como se puede apreciar en la figura siguiente:

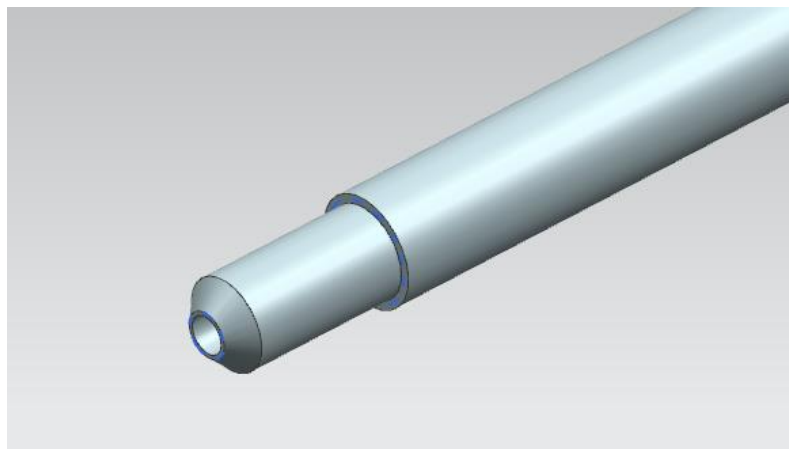


Figura 24. Imagen 3D de la punta mecanizada de la barra del husillo.

2.4.7. Elección del motor eléctrico

Para cada proyecto y cada aplicación se requiere de un motor con características distintas. Para ciertas aplicaciones se puede requerir un motor que no gire a mucha velocidad y en cambio genere un par motor muy elevado, o al contrario para otras aplicaciones.

El motor seleccionado deberá trabajar en corriente continua (CC), ya que estos motores tienen un mejor control sobre la velocidad que los que trabajan en corriente alterna (CA). Los motores de CC suelen ser los escogidos para aplicaciones en las que se requiere un par de arranque alto.

Los requisitos que hay que tener en cuenta para determinar que motor eléctrico es necesario adquirir son: el precio, la velocidad, el tamaño, el par motor y la potencia.

Todos los cálculos siguientes se recogen en el anexo 1.2.

Para calcular la potencia necesaria que debe ejercer el motor primero se requiere la potencia útil que utiliza el sistema del husillo en el momento del compactado. Se analiza solamente el movimiento de ida de la prensa, es decir del compactado, ya que el movimiento de ida y vuelta será el mismo, pero en sentido contrario.

La zona de compactado tiene una longitud de 280 mm, que corresponde al desplazamiento máximo realizado por la prensa. Y, siguiendo los requerimientos del proyecto especificados en el apartado 1.7, el tiempo del proceso debe ser de 10 s por recorrido (este tiempo es ideal, en la realidad será superior porque se tendrá que tener en cuenta el tiempo de arranque del motor). Esta velocidad es de 0'056 m/s. La potencia de un movimiento lineal se calcula de la siguiente forma:

$$P_u = F \cdot v = 2500N \cdot 0'056 \frac{m}{s} = 140W \quad [14]$$

Donde:

F: fuerza que realiza el sistema [N]

v: velocidad del sistema [m/s]

Pero, como todos los sistemas de transformación del movimiento, el husillo de bolas tiene un porcentaje de pérdidas por rozamiento, aunque en este caso son muy pequeñas, como se ha comentado en apartados anteriores. Teniendo en cuenta que el rendimiento del husillo seleccionado en el punto 2.4.4 es del 90%, la potencia absorbida del motor será:

$$P_{abs} = \frac{P_u}{\eta} = \frac{140W}{0'9} = 155W \quad [15]$$

Donde:

P_u: es la potencia útil del motor [W]

η: rendimiento del sistema

El punto 2.4.4. donde se ha realizado la selección del husillo era imprescindible realizarlo previo al estudio del motor, ya que es necesario conocer el sistema mecánico que transformará el movimiento rotatorio del motor en lineal. Este sistema mecánico es el husillo de bolas M12x10, con 90% de eficiencia.

Con estos datos, y teniendo en cuenta los criterios de selección nombrados anteriormente, se ha realizado un estudio de mercado de motores de CC de diferentes fabricantes como se muestra en el anexo 1.4. El motor seleccionado es un motor de CC del fabricante Parvalux, concretamente el motor MPM3-0004/CONT, que funciona a 12 V, generando un par de salida de 0,4 Nm a una velocidad angular de 4000 min^{-1} y un consumo de 10 A.



Figura 25. Fotografía del motor MPM3-0004/CONT del fabricante Parvalux, motor seleccionado para el proyecto. (Parvalux, 2018)

El movimiento realizado durante el prensado es a velocidad angular constante, es decir, el motor no deberá estar acelerado y deberá aportar el mismo par durante todo el recorrido, excepto en el inicio del movimiento y en el cambio de sentido ya que deberá acelerar el movimiento hasta llevarlo a la velocidad deseada. Además, también hay que tener en cuenta que, al compactar envases de materiales elásticos, hay que mantener la presión sobre el envase durante unos segundos para que se produzca una deformación plástica del mismo.

2.4.7.1. Cálculo del tiempo de aceleración

Para el cálculo del tiempo que tarda el motor en acelerar, primero es necesario conocer todas las masas que van a moverse. Todas ellas se recogen en la figura 26. Una vez identificadas, se agrupan en tres: m_1 , m_2 y m_3 . En la tabla 7 se pueden ver las masas de que piezas van incluidas en cada grupo, así como la masa total de cada agrupación.

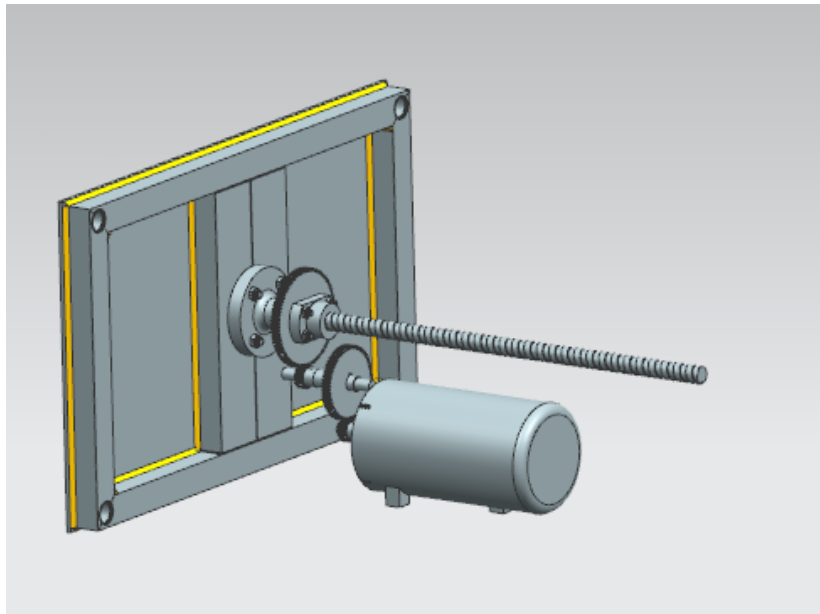


Figura 26. Imagen 3D de todos los cuerpos que moverá el motor eléctrico.

Agrupación	Piezas	Masa total (kg)
m_1	<ul style="list-style-type: none"> • Engranaje motor • Chaveta 	0,009
m_2	<ul style="list-style-type: none"> • Engranaje intereje-motor • Engranaje intereje-husillo • Intereje • 2 x Chaveta 	0,145
m_3	<ul style="list-style-type: none"> • Rosca • Husillo • 4x Tornillos M4 • 4x Tuerca M4 • 5x Tornillos M5 • 4x Tuerca M5 • Pieza Unión • Parte Móvil • 4x Cojinetes 	4,257

Tabla 7. Agrupación de masas para el cálculo del tiempo de aceleración del motor.

Una vez agrupadas las masas que van a moverse, se calculan las inercias de dichas masas. Para simplificar los cálculos se supone cada agrupación como un disco independiente.

$$I_G = \frac{1}{2} m \cdot R^2 \quad [16]$$

Donde:

I_G : Inercia del cuerpo [$\text{kg} \cdot \text{m}^2$]

m : Masa del cuerpo [kg]

R : Radio respecto el centro de rotación [m]

$$I_{G1} = \frac{1}{2} m_1 \cdot R_1^2 = \frac{1}{2} 0,009 \cdot 8^2 = 0,288 \text{ kgmm}^2$$

$$I_{G2} = \frac{1}{2} m_2 \cdot R_2^2 = \frac{1}{2} 0,145 \cdot (8 + 24)^2 = 74,24 \text{ kgmm}^2$$

$$I_{G3} = \frac{1}{2} m_3 \cdot R_3^2 = \frac{1}{2} 4,257 \cdot 32^2 = 2179,584 \text{ kgmm}^2$$

Una vez conocidas las inercias de las 3 agrupaciones, se aplica el método de reducción de mecanismos para simplificar los cálculos. En este caso se reduce el mecanismo al eje del motor, por lo tanto, la velocidad angular reducida será igual a la del eje del motor.

$$\omega_R = \omega_{motor} = \omega_1 = 4000 \text{ min}^{-1} = 418,88 \text{ rad/s}$$

Una vez definido ω_R , y sabiendo las relaciones de transmisión que hay entre las 3 agrupaciones, se dibuja el cinema de velocidades angulares y se calcula la relación entre ω_R , ω_2 y ω_3 .

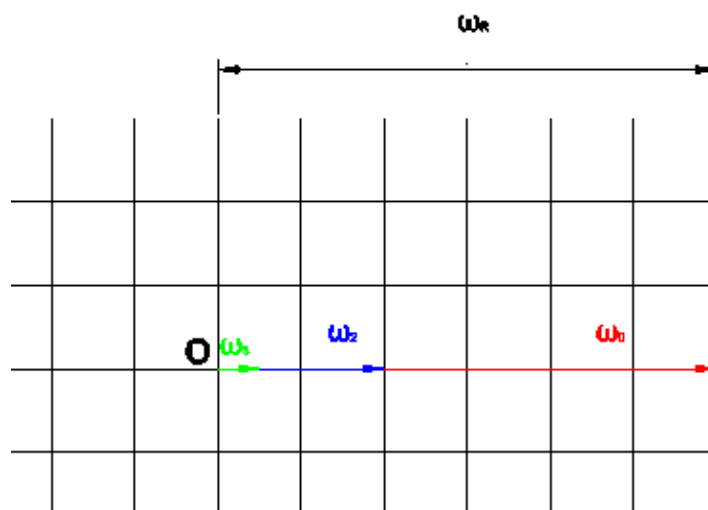


Figura 27. Cinema de velocidades angulares

$$\begin{cases} \omega_1 = \omega_R \\ \omega_2 = \frac{\omega_R}{3} \\ \omega_3 = \frac{\omega_R}{12} \end{cases}$$

Finalmente se aplica el método de la reducción y se encuentra el valor de la inercia reducida.

$$I_{GR} \cdot \omega_R = I_{G1} \cdot \omega_1 + I_{G2} \cdot \omega_2 + I_{G3} \cdot \omega_3 \quad [17]$$

Se sustituyen las velocidades angulares y las inercias para encontrar el valor de la inercia reducida.

$$I_{GR} \cdot \omega_R = I_{G1} \cdot \omega_R + I_{G2} \cdot \frac{\omega_R}{3} + I_{G3} \cdot \frac{\omega_R}{12} \rightarrow I_{GR} = I_{G1} + \frac{I_{G2}}{3} + \frac{I_{G3}}{12}$$

$$I_{GR} = 0,288 + \frac{74,24}{3} + \frac{2179,584}{12} = 206,667 \text{ kgmm}^2 = 2,067 \times 10^{-4} \text{ kgm}^2$$

Una vez encontrada cual es la inercia reducida, se aplica la 2ª Ley de Newton para encontrar la aceleración angular del mecanismo, cogiendo como valor del momento el valor medio del par nominal del motor. Eso sucede porque la aceleración del motor se hace de forma lineal, como se puede ver en la figura 28, controlando el valor de la intensidad de forma electrónica. Esto evita fuertes picos de consumo durante el inicio del proceso, y aumenta la duración del motor eléctrico.

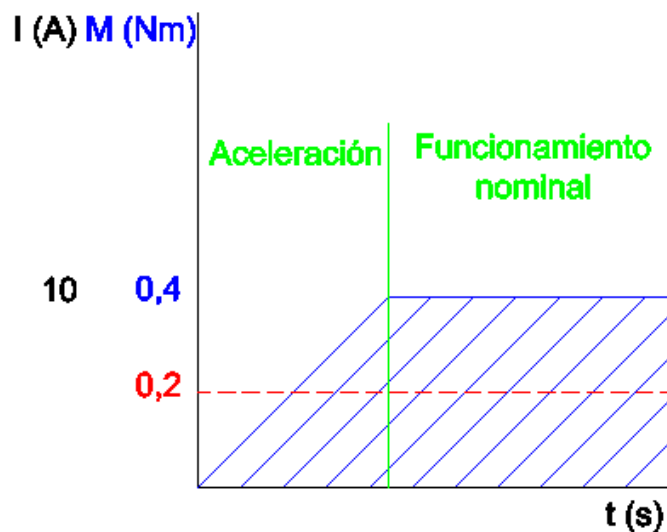


Figura 28. Gráfico de arranque del motor.

$$M = I_{GR} \cdot \varepsilon \quad [18]$$

Donde:

M: Par de torsión que acciona el mecanismo [Nm]

ε : Aceleración angular del mecanismo [rad/s²]

I_{GR} : Inercia del cuerpo [kg·m²]

$$\varepsilon = \frac{M}{I_{GR}} = \frac{0,2}{2,067 \times 10^{-4}} = 967,742 \text{ rad/s}^2$$

Finalmente, conociendo el valor de la aceleración angular, y que el sistema parte del reposo y acelera hasta los 418,88 rad/s (4000 min⁻¹), se obtiene el tiempo que tarda en acelerar el sistema con una ecuación básica de cinética.

$$\omega_F = \omega_0 + \varepsilon \cdot t \quad [19]$$

Donde:

ω_F : Velocidad angular de trabajo [rad/s]

ω_0 : Velocidad angular en reposo [rad/s]

t_{ac} : Tiempo que tarda acelerar el mecanismo [s]

ε : Aceleración angular del mecanismo [rad/s²]

$$t = \frac{\omega_F}{\varepsilon} = \frac{418,88}{967,742} = 0,433 \text{ s}$$

Por lo tanto, el motor tarda 0,433 segundos en acelerar a la velocidad nominal.

Sabiendo el tiempo de aceleración, la velocidad nominal y la carrera de la prensa, se puede calcular el tiempo de compactado teórico.

$$280 \text{ mm de carrera} \cdot \frac{1 \text{ vuelta}}{10 \text{ mm}} \cdot \frac{2\pi \text{ rad}}{1 \text{ vuelta}} = 175,93 \text{ rad de carrera}$$

Estos 175,93 radianes de carrera son el desplazamiento circular que debe hacer el husillo para realizar una compactación, por lo tanto, sabiendo que la relación de transmisión del mecanismo es de 12, los radianes de carrera que debe recorrer el eje del motor son 2111,15 radianes.

Finalmente, solo falta aplicar las formular de movimiento circular uniforme y de movimiento circular uniformemente acelerado (m.c.u. y m.c.u.a.) para encontrar el tiempo teórico de compactación.

$$\varphi_{ac} = \varphi_0 + \omega_0 \cdot t_{ac} + \varepsilon \cdot t_{ac}^2 \quad [20]$$

Donde:

φ_{ac} : Recorrido circular durante la aceleración [rad]

φ_0 : Recorrido circular inicial [rad]

ω_0 : Velocidad angular en reposo [rad/s]

t_{ac} : Tiempo que tarda acelerar el mecanismo [s]

ε : Aceleración angular del mecanismo [rad/s²]

$$\varphi_{ac} = 0 + 0 \cdot 0,433 + 967,742 \cdot 0,433^2 = 181,44 \text{ rad}$$

Ahora, conociendo el recorrido que hace el eje del motor durante la fase de aceleración, se aplica la formula m.c.u. para conocer el tiempo que tarda en compactar el embase en la fase de movimiento uniforme.

$$\varphi_F = \varphi_{ac} + \omega_F \cdot t \quad [21]$$

Donde:

φ_F : Recorrido circular total de compactado [rad]

φ_{ac} : Recorrido circular durante la aceleración [rad]

ω_F : Velocidad angular de trabajo [rad/s]

t : tiempo de compactado durante la fase de movimiento uniforme [s]

$$t = \frac{\varphi_F - \varphi_{ac}}{\omega_F} = \frac{2111,15 - 181,44}{418,88} = 4,817 \text{ s}$$

Finalmente, solo falta sumar los 2 tiempos para conocer el tiempo teórico de compactación.

$$t_t = t + t_{ac} \quad [22]$$

Donde:

t_t : Tiempo total de compactado [s]

t : tiempo de compactado durante la fase de movimiento uniforme [s]

t_{ac} : Tiempo que tarda acelerar el mecanismo [s]

$$t_t = 4,817 + 0,433 = 5,25 \text{ s}$$

El tiempo teórico de compactado es de 5,25 segundos, por lo tanto, un ciclo completo se podría hacer en 10,5 segundos. A este tiempo habría que añadirle unos segundos para mantener la prensa compactando para que el envase se deforme plásticamente y no vuelva a su forma original al dejar de ejercer presión. También hay que tener en cuenta el tiempo en el que está funcionando el mecanismo de expulsión (unos 6 segundos si el envase no se atasca).

Teniendo todo esto en cuenta, se puede garantizar con bastante seguridad que esta máquina puede compactar cualquier envase en 20 segundos.

2.4.7.2. Selección del mecanismo reductor

Una vez se conocen las necesidades de momento motriz y de velocidad angular, y también las capacidades del motor, ya se puede dimensionar el mecanismo reductor.

En primer lugar, se determinará la relación de transmisión necesaria:

$$i = \frac{n_s}{n_e} = \frac{M_e}{M_s} \quad [23]$$

Donde:

i: relación de transmisión

ne: velocidad angular del motor [min⁻¹]

ns: velocidad angular del husillo [min⁻¹]

Me: par motriz del motor [Nm]

Ms: par motriz del husillo [Nm]

Para el cálculo se utilizan los valores del par motriz de motor y husillo, ya que son datos conocidos:

$$i = \frac{M_s}{M_e} = \frac{4,6}{0,4} = 11,5$$

El valor de la relación de transmisión obtenido indica que el par de salida debe ser 11'5 veces superior al de entrada. Este valor se redondea y se seleccionará un mecanismo reductor con una relación de transmisión de 12. Para ello, utilizando la ecuación [11], se obtienen los valores de par y velocidad angular de salida para esta relación:

$$M_s = i \cdot M_e = 12 \cdot 0,4 = 4,8 \text{ Nm}$$

$$n_s = \frac{n_e}{i} = \frac{4000}{12} = 333,33 \text{ min}^{-1}$$

Una vez consultados varios catálogos (Abina, S.L., 2018), se diseñó el sistema reductor siendo este un tren de engranajes con relación de transmisión de 3, entre las dos primeras ruedas, y de 4 entre las otras dos siguientes. El número de dientes de estas ruedas para cumplir las relaciones anteriores son: $z_1 = 20$ dientes, $z_2 = 60$ dientes, $z_3 = 20$ dientes y $z_4 = 80$ dientes. Para conseguir transmitir el movimiento a través de este tren de engranajes, era necesario diseñar también un eje. En la figura siguiente se muestra el modelaje del tren de engranajes:

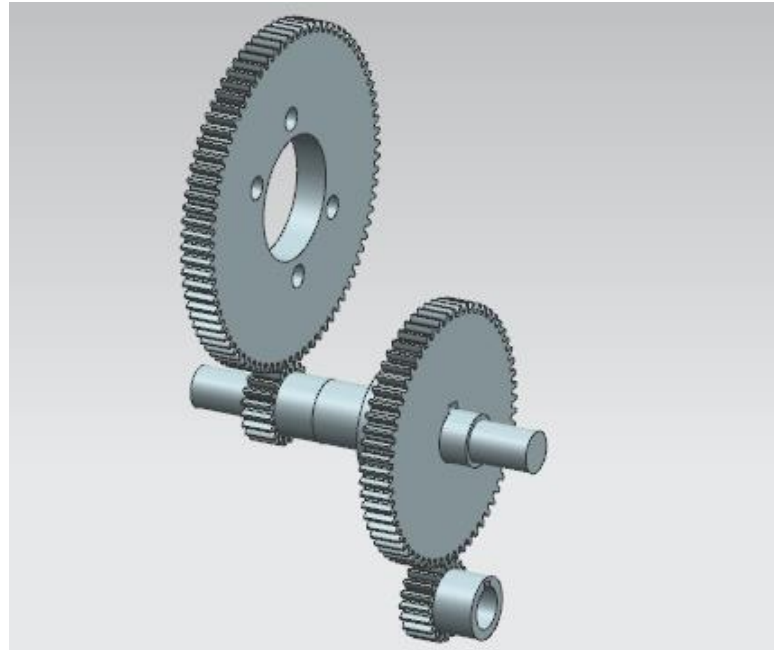


Figura 29. Representación 3D del tren de engranajes del mecanismo.

Con el número de dientes definido, se han aplicado las fórmulas de Lewis (Abasolo, y otros, 2017) para el dimensionado de engranajes, y así conocer el módulo y el espesor de dientes óptimo.

$$m \geq 52,32 \sqrt[3]{\frac{Pot}{n \cdot z \cdot \psi \cdot \sigma \cdot Y}} \quad [24]$$

Donde:

Pot: Potencia a transmitir [CV]

m: módulo [cm]

n: Velocidad angular [min^{-1}]

z: número de dientes

ψ : factor de forma

σ_{adm} : Límite elástico [kg/cm^2]

Y: Factor de Lewis

Conociendo el número de dientes del engranaje, se obtiene el factor de forma y factor de Lewis a través de las tablas de valores (Abasolo, y otros, 2017). El valor de la tensión máxima viene tabulado en función del material y del tratamiento térmico que se le aplica. Para este caso, se utiliza un tratamiento térmico de normalizado.

Solo falta calcular la velocidad angular de cada engranaje para poder dimensionar su módulo. Utilizando de nuevo la ecuación [23]:

$$i_{1-2} = -\frac{n_1}{n_2} \rightarrow n_2 = -\frac{4000}{3} = -1333,33 \text{ min}^{-1}$$

$$n_2 = n_3$$

$$i_{3-4} = -\frac{n_1}{n_2} \rightarrow n_2 = -\frac{-1333,33}{4} = 333,33 \text{ min}^{-1}$$

Con las velocidades obtenidas, ya se puede aplicar la fórmula del módulo de Lewis anteriormente presentada como la ecuación [24]. Esta fórmula se suele aplicar al engranaje con menor número de dientes, puesto que es el que más sufre.

$$m_{z1} \geq 52,32 \sqrt[3]{\frac{Pot}{n_{z1} \cdot z_1 \cdot \psi_1 \cdot \sigma_{adm} \cdot Y_1}} = 52,32 \sqrt[3]{\frac{0,201}{4000 \cdot 20 \cdot 1 \cdot 1325,63 \cdot 0,322}}$$

$$m_{z1} \geq 0,044 \text{ cm} = 0,44 \text{ mm}$$

$$m_{z3} \geq 52,32 \sqrt[3]{\frac{Pot}{n_{z3} \cdot z_3 \cdot \psi_3 \cdot \sigma_{adm} \cdot Y_3}} = 52,32 \sqrt[3]{\frac{0,201}{1333,33 \cdot 20 \cdot 10 \cdot 1325,63 \cdot 0,322}}$$

$$m_{z3} \geq 0,063 \text{ cm} = 0,63 \text{ mm}$$

Se ha determinado que los engranajes 1 y 2, de 20 y 60 dientes respectivamente, pueden ser de un módulo 0,5 o superior, y los engranajes 3 y 4, de 20 y 80 dientes, pueden ser de módulo 0,8 o superior.

Consultando los catálogos (Abina, S.L., 2018) de engranajes de módulo 0,5 y 0,8, se determina que los engranajes de módulo 0,5 son demasiado pequeños para el eje del motor, por lo que se descarta su uso y se seleccionan todos los engranajes con módulo 0,8.

Con los engranajes ya seleccionados, se realizan los cálculos de flexión del diente de Lewis (Abasolo, y otros, 2017) para verificar que los engranajes han sido dimensionados debidamente. Primero se calcula la F_t , que es la fuerza transmitida entre los engranajes.

$$F_t = 71620 \frac{Pot}{n \cdot R} \quad [25]$$

Donde:

Ft: Fuerza tangencial del engranaje [kg]

R: Radio de paso [cm]

n: Velocidad angular [min^{-1}]

$$F_{t1} = 71620 \frac{Pot}{n_1 \cdot R_1} = 71620 \frac{0,201}{4000 \cdot 0,8} = 4,499 \text{ kg}$$

$$F_{t2} = 71620 \frac{Pot}{n_2 \cdot R_2} = 71620 \frac{0,201}{1333,33 \cdot 2,4} = 4,499 \text{ kg}$$

$$F_{t3} = 71620 \frac{Pot}{n_3 \cdot R_3} = 71620 \frac{0,201}{1333,33 \cdot 0,8} = 13,496 \text{ kg}$$

$$F_{t4} = 71620 \frac{Pot}{n_4 \cdot R_4} = 71620 \frac{0,201}{333,33 \cdot 3,2} = 13,496 \text{ kg}$$

Una vez obtenida la fuerza que transmite cada engranaje, se aplica la ecuación de Lewis, para determinar el grosor mínimo que debe tener el engranaje para no romperse el diente (Abasolo, y otros, 2017).

$$\sigma_{adm} = \frac{F_t}{b \cdot m \cdot Y} \rightarrow b = \frac{F_t}{\sigma_{adm} \cdot m \cdot Y} \quad [26]$$

Donde:

b: grosor del diente [cm]

Ft: Fuerza tangencial del engranaje [kg]

m: módulo [cm]

Y: Factor de Lewis

$$b_1 = \frac{F_{t1}}{\sigma_{adm} * m * Y_1} = \frac{4,499}{1325,63 * 0,08 * 0,322} = 0,1317 \text{ cm} = 1,317 \text{ mm}$$

$$b_2 = \frac{F_{t2}}{\sigma_{adm} * m * Y_2} = \frac{4,499}{1325,63 * 0,08 * 0,422} = 0,1023 \text{ cm} = 1,023 \text{ mm}$$

$$b_3 = \frac{F_{t3}}{\sigma_{adm} * m * Y_3} = \frac{13,496}{1325,63 * 0,08 * 0,322} = 0,4022 \text{ cm} = 4,022 \text{ mm}$$

$$b_4 = \frac{F_{t4}}{\sigma_{adm} * m * Y_4} = \frac{13,496}{1325,63 * 0,08 * 0,44} = 0,294 \text{ cm} = 2,94 \text{ mm}$$

Con estos cálculos se verifica que los engranajes están bien dimensionados y podrán soportar las cargas previstas durante la compactación de envases, ya que los engranajes de módulo 0,8 tienen un grosor de 6 mm. También se ha valorado la opción de reducir el grosor de estos engranajes para disminuir el peso de la máquina, pero se descartó debido al elevado coste de este mecanizado, y a que la reducción de peso no sería significativa.

2.4.8. Dimensionado del sistema de guiado

Como se ha avanzado en el punto 2.4.5, el prensado necesita de un sistema de guiado para su funcionamiento. Tras la observación de un gran número de aplicaciones similares se determinó que el sistema ideal para este tipo de aplicaciones son cuatro guías cilíndricas, ya que en todos los casos era la solución utilizada.

Para el dimensionado de las guías, primero se realiza el diagrama del cuerpo libre de la parte móvil de la prensa, que es el cuerpo por el que pasan las guías, para así conocer las fuerzas que deberán soportar las guías.

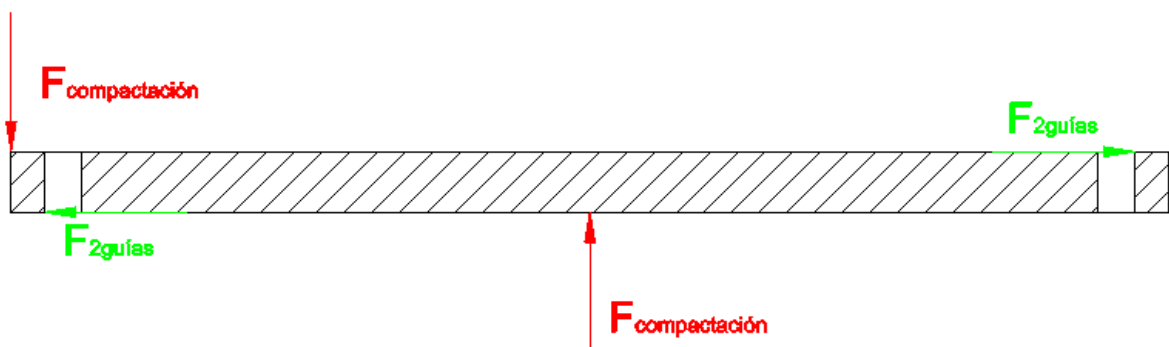


Figura 30. Diagrama del cuerpo libre de la prensa durante el compactado.

Como en todos los casos de dimensionado de componentes, se analiza el caso extremo. Este caso en el compactado se produce cuando se debe compactar una lata la cual se encuentra en una esquina de la prensa. Para el análisis se coloca la fuerza de reacción de la lata en el extremo de la placa, aunque en la realidad sería una fuerza más repartida.

Como se observa en la figura 30, al aplicar la fuerza de compactación, se generan una serie de reacciones en las guías, que serían del mismo modulo que las fuerzas de compactación.

$$F_{compactación} = F_{2guías} = 2500 \text{ N}$$

Como en cada extremo de la placa hay dos guías, una superior y otra inferior, la fuerza que soporta cada extremo de la placa debe distribuirse de igual forma en ambas guías:

$$F_{guía} = \frac{F_{2guías}}{2} = 1250 \text{ N}$$

Estas sollicitaciones provocan una deformación transversal de la guía. Dichas cargas solo aparecen durante la compactación, y se mantienen constantes. El resto de tiempo las guías solo soportan el peso propio de la parte móvil de la prensa, que es de 3,49 kg, el cual también provoca una flexión de la guía. Esta fuerza provocada por el peso de la prensa también se reparte de igual forma entre ambas guías:

$$F_{peso} = \frac{P \cdot g}{2} = \frac{3'49kg \cdot 9'81m/s^2}{2} = 17'1N \quad [27]$$

Donde:

P: Peso de la placa móvil de la prensa [kg]

g: Gravedad [m/s²]

Una vez se han obtenido las dos fuerzas que actúan sobre la prensa, sabiendo que son perpendiculares, se suman vectorialmente para obtener la fuerza de flexión (F_{fle}) que reciben:

$$F_{fle} = \sqrt{F_{peso}^2 + F_{guía}^2} = 1250,1 \text{ N}$$

Como se suponía, la fuerza que genera el peso es despreciable. Una vez obtenida la fuerza de flexión, se representará el diagrama de momentos flectores de las guías, para así conocer el momento flector máximo.

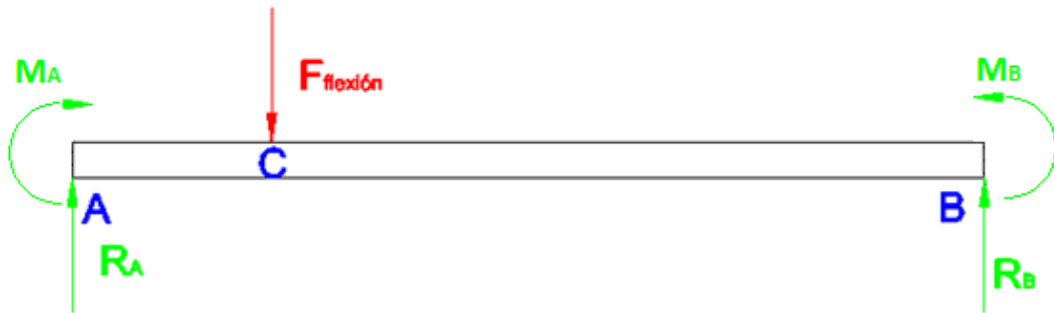


Figura 31. Diagrama del cuerpo libre de una de las guías.

Observando el diagrama del cuerpo libre de la guía, y conociendo que el diámetro de las latas más grandes es de 68 mm, se realiza el cálculo de las reacciones en los encajes de la guía, los cuales serán mediante un tornillo axial que unirá las guías a las dos placas de soporte:

$$\sum M_A = 0 \rightarrow F_{fle} \cdot AC - F_b \cdot AB = 0 \rightarrow F_{fle} \cdot 68 - F_b \cdot 320 = 0$$

$$F_b = \frac{1250,1 \cdot 68}{320} = 265'65 \text{ N}$$

Realizando el sumatorio de fuerzas en el eje Y:

$$\sum F_y = 0 \rightarrow F_B + F_A = P \rightarrow F_A = P - F_B$$

Por lo tanto, se determina que el valor de es $F_A = 984'47 \text{ N}$.

Con estos resultados, se realiza el diagrama de momentos flectores. En la figura 32, la parte de color azul representa el momento flector máximo de la guía y donde se produce.

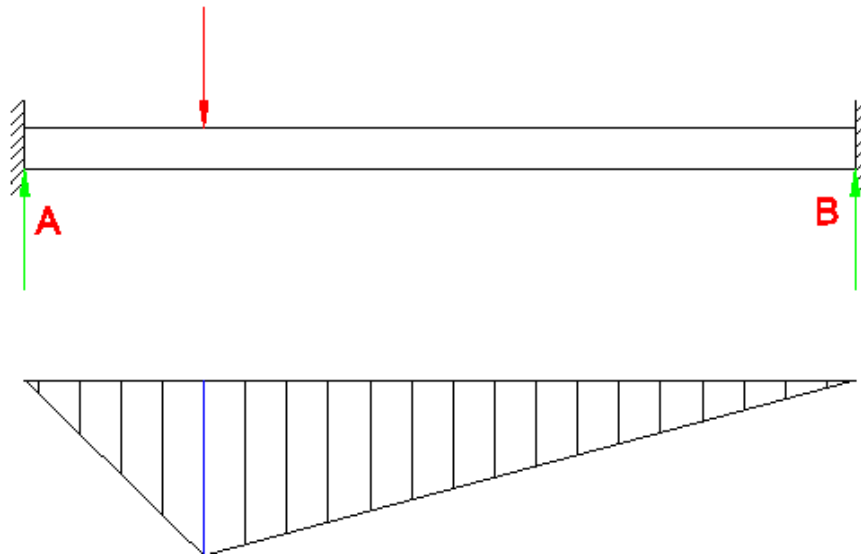


Figura 32. Diagrama de momentos flectores de una de las guías.

$$M_{fle_{m\acute{a}x}} = \frac{p \cdot l}{4} = \frac{984'47 \cdot 68}{4} = 16735'99 \text{ Nmm} \quad [28]$$

Donde:

p: carga que soporta la guía [N]

l: distancia entre el empotramiento de la guía y localización de la placa fija cuando se inicia la compactación del caso más crítico [mm]

Una vez obtenido el momento flector máximo, se procede a calcular la tensión de flexión que soportan las guías en el caso más crítico. Como no se conoce el valor del diámetro, se impone que:

$$i \triangleq \frac{1}{\pi d^3} \quad [29]$$

Donde:

i: parámetro para el cálculo

d: diámetro de la guía [mm]

Así que si se substituye en la ecuación de la tensión:

$$\sigma_{fle} = 32 \cdot M_{fle} \cdot i \quad [30]$$

Donde:

σ_{fle} : tensión de flexión [MPa]

M_{fle} : momento flector máximo [Nmm]

i: parámetro para el cálculo

De aquí se deduce que, al realizar el estudio de fatiga de estas guías, se considerará la carga de compresión como una tensión pulsante, ya que no es una carga constante, sino que varía durante el proceso de compactación, y pasa de compresión a tracción. En cambio, la del peso propio se trata de una tensión constante. Como la carga del peso es tan inferior a la de compresión, se considera que ambas son pulsantes para simplificar los cálculos.

Una vez se determina que la carga es pulsante, y utilizando la fórmula 25, se determina la tensión media y la tensión alternativa, ambas de igual modulo, y la mitad de la tensión de flexión máxima.

$$\sigma_a = 267775,84i$$

$$\sigma_m = 267775,84i$$

Por lo tanto, la recta de trabajo de las guías será:

$$y = \frac{267775,84i}{267775,84i} x = x \quad [31]$$

Una vez se conoce la ecuación de la recta de trabajo de las guías, se analiza respecto el diagrama Haigh. Como las guías serán de acero, pero no se ha determinado todavía cual exactamente, se considera $\sigma_u = 400$ MPa y $\sigma_f = 153$ MPa.

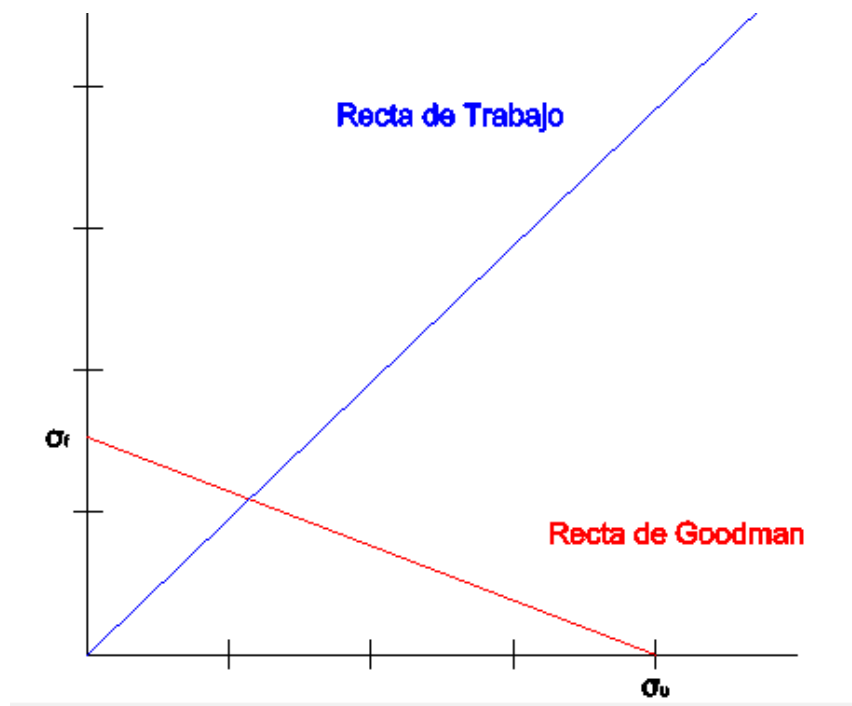


Figura 33. Diagrama de Haigh.

Seguidamente se iguala la recta de trabajo de la guía con la recta de Goodman, y se obtiene un valor de "X". Con esta "X", y utilizando el factor de seguridad que se crea oportuno (en este caso de 1,5), se obtiene el valor del diámetro mínimo y de las guías para su funcionamiento en vida infinita. A continuación, se realizan los cálculos más detalladamente.

Primero se hace un sistema de 2 ecuaciones con 2 incógnitas usando las ecuaciones de la recta de trabajo y la recta de Goodman. Se igualan y finalmente se encuentra el punto donde ambas se cruzan.

$$\begin{cases} y = x \\ y = 153 - \frac{153}{400}x \end{cases} \left\{ 153 - \frac{153}{400}x = x \right\} 153 = 1,3825x$$

$$x = \frac{153}{1,3825} = 110,67$$

Por lo tanto, el valor de es $x = 110,67$.

De la ecuación del factor de seguridad, se aísla el valor i :

$$FS = \frac{110,67}{267775,84 \cdot i} = 1,5 \quad [32]$$

$$i = \frac{110,67}{267775,84 \cdot 1,5}$$

Una vez se ha determinado valor para i , de la ecuación [29] se aísla el diámetro:

$$i = 2,755 \cdot 10^{-4} = \frac{1}{\pi d^3}$$

$$d = \sqrt[3]{\frac{1}{\pi \cdot 2,755 \cdot 10^{-4}}} = 10,493 \text{ mm}$$

Finalmente, se obtiene el diámetro mínimo que deben tener las guías para el correcto funcionamiento del sistema de prensado es de $\varnothing_{\min} = 10,493 \text{ mm}$, por lo tanto, se usarán guías lineales del diámetro normalizado siguiente, que es el $\varnothing 12 \text{ mm}$.

A partir de estos resultaos y observando catálogos de fabricantes, se escoge como material de las guías el hierro templado, típico para este tipo de aplicaciones, con $\sigma_u = 350$ MPa y $\sigma_f = 133,875$ MPa, \varnothing 12 mm, 315 mm de longitud (según las necesidades del mecanismo) y un agujero roscado a M5x0,8 en cada extremo para fijarlas en posición horizontal.

Una vez obtenido escogido las guías, se vuelve a hacer el cálculo a fatiga para determinar el Factor de Seguridad a vida infinita correcto, que en este caso es de FS=1,972.

Además, se requieren dos guías más para la compuerta automatizada inferior, por lo que, para abaratar costes de proveedores, ya que las barras suelen suministrarlas de mayor longitud, se adquieren al mismo proveedor y de las mismas características.

La rectitud y paralelismo de las guías es muy importante para garantizar el correcto deslizamiento de la prensa, o la compuerta, sobre ellas. Una mala alineación de las guías podría provocar sobre esfuerzos o incluso atascos en el desplazamiento. Además, este hecho provocaría también un desgaste mucho más elevado de los componentes y a la larga un coste extra, el cual puede evitarse. Para evitarlo es necesario garantizar la correcta alineación de las guías.

Las guías van fijadas a las dos placas colocadas en sus extremos, mediante un agujero roscado de métrica M5, pero un tornillo no garantiza la correcta alineación a lo largo del tiempo. Por eso mismo, se le ha realizado fresados en cada punto de unión de las guías con las placas, fresados circulares del mismo diámetro que las guías y una profundidad de 2mm, se pueden apreciar en la figura 34 En estos huecos realizados, se introducirán las guías mediante ajustes de apriete con lo que quedarán encajadas garantizando así su correcto alineamiento a lo largo de la vida útil del producto.

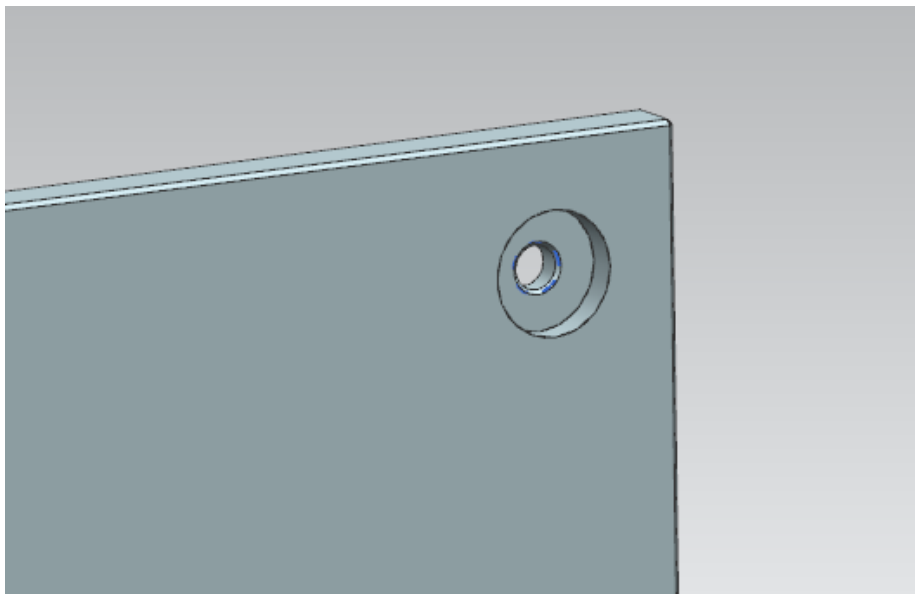


Figura 34. Imagen 3D del fresado realizado para la correcta alineación de las guías.

2.4.8.1. Dimensionado de los rodamientos de casquillo

El sistema de guiado anteriormente presentado necesita un componente de unión entre las guías y la parte móvil de la placa el cual permita el correcto deslizamiento de esta sobre las guías. Para el cumplimiento de esta necesidad se ha decidido colocar rodamientos de casquillo autolubricantes.

La lubricación del sistema de guiado es importante tanto para asegurar el correcto funcionamiento el mecanismo como para alargar la vida útil a los componentes del mecanismo. Debido a que el contenedor se trata de un producto de uso doméstico, se requiere el mínimo mantenimiento posible para comodidad del usuario. Teniendo en cuenta, como se ha visto anteriormente, que la lubricación de las guías debería realizarse cada poco tiempo, se ha decidido buscar otra solución. Esta solución son los cojinetes autolubricantes.

Lo cojinetes que se ha decidido usar son rodamientos de casquillo autolubricantes de la empresa *Igus*. Estos irán instalados en la propia prensa. Este tipo de componente, según el fabricante, aumentan considerablemente la vida útil del componente reduciendo al mismo tiempo las tareas de mantenimiento, ahorrando casi un 40% los costes del producto (Igus, 2018). Están fabricados, a diferencia de los de uso convencional, con polímeros altamente resistentes al desgaste, con adición de materiales reforzantes y lubricantes sólidos, lo que permite la auto lubricación de las guías. Además, son capaces de absorber altas cargas axiales.



Figura 35. Fotografía de un rodamiento de casquillo autolubricante *Igus* (Igus, 2018).

El rendimiento de estos es inferior al de los cojinetes de bolas, aun así, dado que están fabricados con materiales más baratos, el precio de estos rodamientos dista mucho de los de bolas por lo que se han determinado como la opción ideal a aplicar al proyecto. Además, se le da un peso importante en cuanto a la selección de componentes que estos sean lo más innovadores posible y a la vez que dañen menos el medioambiente al final de su vida útil.

Para el dimensionado de estos rodamientos, el fabricante y distribuidor *Igus*, proporciona a sus clientes un servicio de cálculo de la vida útil del producto según las necesidades y dimensiones necesarias. Este cálculo se realiza mediante un aplicativo disponible en la misma página web, el cual se puede observar en la figura 36.

Forma de construcción & Dimensiones

GSM-1214-15

ó

☒ Diseño S ☐ Diseño F

☐ Toda la información es puede seleccionar libremente ?

Unidad: ☒ mm ☐ inch


Diámetro del eje: (d1) mm

Ancho del cojinete: (b1) mm ?

☒ Diámetro- exterior: (d2) mm

Grosor de la valona: (b2) mm


Carga & Temperatura

 Carga dinámica


Carga máxima del cojinete: F N ?


Presión superficial media: P N/mm²

☐ Carga estática radial en reposo ?

 Carga máxima del cojinete: F N

Presión superficial media: P N/mm²

☐ Aparecen golpes ? 

☐ Aparecen cargas en los bordes ? 

Máxima temperatura ambiente: °C ?

Temperatura máxima a corto plazo: °C ?

Temperatura mínima: °C ?

Figura 36. Datos para el cálculo de la vida útil de los cojinetes *Igus* mediante el aplicativo web (*Igus*, 2018)

Para el cálculo se han introducido los valores del diámetro de las guías, determinado en el apartado anterior, medidas requeridas del propio rodamiento y las cargas y temperaturas de trabajo. El aplicativo de cálculo determina que los cojinetes tendrán una vida útil de 67.324 ciclos completos de compactación, en ese momento el desgaste de los cojinetes superará los 0'25mm de diámetro.

La referencia del fabricante es:

- 6 unidades de GSM-1214-15

Diámetro interior de 12 mm, diámetro exterior de 14 mm, longitud de 18 mm cada uno.

2.4.9. Diseño del mecanismo de expulsión de los envases

Para permitir la expulsión de los envases compactados de la zona de prensado del contenedor, se ha diseñado un sistema de compuerta deslizante horizontal accionada por un pequeño motor DC. En un primer momento se barajó la opción de dejar un espacio abierto constantemente para permitir que por ahí cayeran los envases compactados, pero la prensa les haría caer antes de contactar con la otra placa e iniciar el prensado. Por eso mismo se plantearon algunas ideas de diseño para evitar esta caída prematura, pero todos ellos dificultaban demasiado el mecanismo y aumentaba los costes, por lo que finalmente se ha decidido instalar una compuerta horizontal con un pequeño motor.

Este mecanismo consta de 2 partes: la placa reforzada con guías lineales y cremallera, y el motor DC con su engranaje pertinente.

2.4.9.1. Compuerta

Para que todos los envases pudiesen ser expulsados con facilidad después de su compactación, se ha dejado un espacio en la parte inferior de la zona de prensado de 100 mm de longitud, esta medida está justificada con el estudio que se realizó compactando envases donde se determinó que el grosor de las garrafas ya compactadas no superaba nunca los 100mm, por lo que así se asegura que no se queden atascados.

Para mantener cubierto este hueco antes de que el envase deba ser expulsado, se ha diseñado la placa de la figura 19 que tiene unas medidas de 375x100 mm, de 3 mm de grosor con un marco de refuerzo formado por tubos de sección cuadrada de 20x20x1,5 mm, el mismo perfil que en la parte móvil de la prensa y que los montantes de la estructura.

El marco de refuerzo que se le acopla a la palca de la compuerta es necesario para asegurar que esta podrá soportar las posibles solicitudes que puedan aparecer durante el proceso de compactación. Según el tipo de envase y según la deformación que sufra durante el compactado, este puede ejercer más fuerza de la prevista inicialmente en dirección vertical, es decir, absorbida por la compuerta y sus soportes. Estas fuerzas son muy difíciles de prever ya que es impredecible cómo y en qué dirección se deformará cada envase. El diseño de este refuerzo se ha basado en las premisas de diseño de refuerzos para estructuras soldadas (Blodgett, 1967).

También se le han soldado 2 tubos redondos de \varnothing_{ext} 18 mm y espesor de 3 mm. Estos tubos servirán de alojamiento para los cojinetes *Igus* para que la compuerta pueda desplazarse por el sistema de guiado. Con el objetivo de fijar los cojinetes, se mecaniza una ranura de 2 mm en ambos cilindros donde se alojará una *seeger*, la cual permitirá que el cojinete se mantenga en su lugar correctamente colocado.

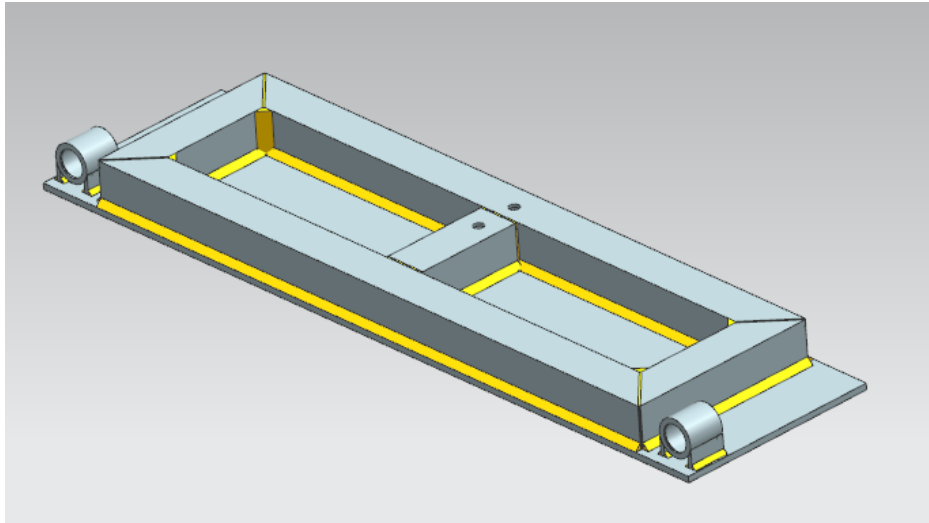


Figura 37. Imagen 3D de la parte inferior de la compuerta de expulsión.

Como ya se comenta en el apartado 2.4.8, se han decidido instalar las mismas guías lineales que en la prensa, aunque no se necesite un diámetro tan grande para esta aplicación. La razón de que se mantenga la misma guía es para abaratar costes, ya que el precio proporcionado por el suministrador de las guías es menor si todas eran del mismo tipo.

En la parte trasera de la compuerta, como se puede apreciar en la figura 37, se le realizan dos agujeros con un acabado en avellanado en la parte de la placa. Estos dos agujeros permitirán adherir a la compuerta, mediante uniones atornilladas, la cremallera que, engranada con el motor DC, permitirá el movimiento de esta.

2.4.9.2. Motor eléctrico y transmisión de la compuerta

Para permitir el movimiento horizontal de la compuerta del apartado anterior, se instalará un mecanismo cremallera de módulo 1 y una longitud de 150 mm, como se puede apreciar en la figura 20. Este sistema de cremallera se unirá mediante uniones atornilladas a la compuerta, como se ha avanzado en el apartado anterior. Se une mediante tornillos debido a que no es posible soldarla ya que es un componente el cual, con el tiempo, puede requerir un mantenimiento o sustitución provocados por el desgaste. A la cremallera se le engrana un motor DC con una rueda dentada de módulo 1, al igual que la cremallera, y de 12 dientes.

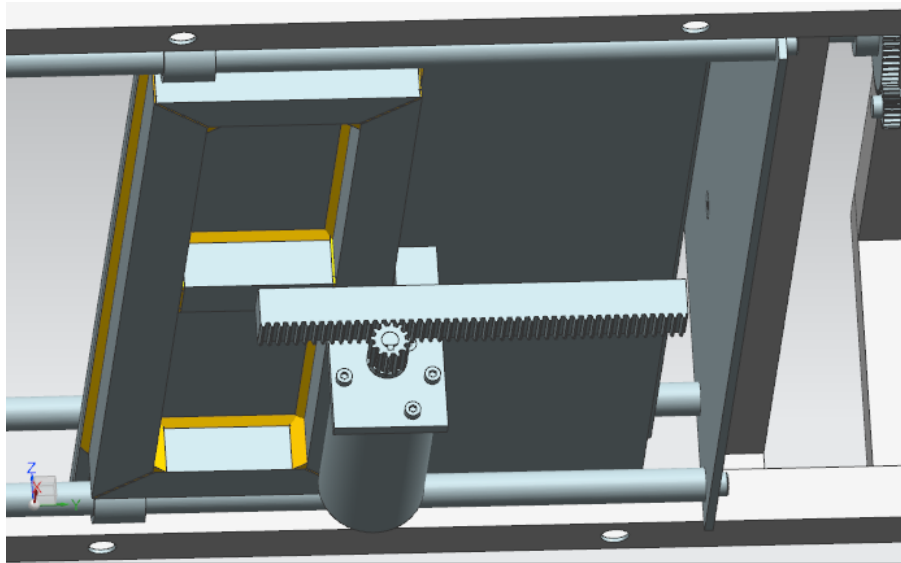


Figura 38. Imagen 3D del sistema cremallera entre la compuerta y el motor DC

Para calcular las solicitaciones del motor, se utiliza el peso de la placa y de la cremallera, con el coeficiente de fricción de los cojinetes.

$$F_{resis} = F_{fric} = \mu_{cojinete} \cdot m_{total} \cdot g \quad [33]$$

$$F_{resis} = 0,15 \cdot 2 \cdot 9,81 = 2,943 \text{ N}$$

Donde:

F_{resist} : fuerza resistente [N]

F_{fric} : fuerza de fricción de los rodamientos [N]

$\mu_{cojinete}$: coeficiente de fricción de los cojinetes (0'15)

m_{total} : masa total de la compuerta [kg]

g : aceleración de la gravedad [m/s^2]

Conociendo ya la fuerza mínima necesaria para mover la compuerta, se calcula el par mínimo que debe suministrar el motor:

$$M_{MOTOR} = F_{resis} \cdot R = 2,943 \cdot 0,012 = 0,035 \text{ Nm} \quad [34]$$

Donde:

F_{resist} : fuerza resistente [N]

R : radio de engrane [mm]

Para determinar la velocidad de rotación necesaria, se usa el siguiente factor de conversión, obteniendo la velocidad en revoluciones por minuto:

$$v = \frac{d}{t} = \frac{100 \text{ mm}}{2,5 \text{ s}} \cdot \frac{1 \text{ diente}}{p} \cdot \frac{1 \text{ revolucion}}{z} \cdot \frac{60 \text{ s}}{1 \text{ min}} = \frac{100 \text{ mm}}{2,5 \text{ s}} \cdot \frac{1 \text{ diente}}{1 * \pi} \cdot \frac{1 \text{ revolución}}{12 \text{ dientes}} \cdot \frac{60 \text{ s}}{1 \text{ min}}$$
$$\rightarrow n_{\min} = 63,662 \text{ rpm}$$

Donde:

d: distancia a desplazar la compuerta [mm]

t: tiempo del desplazamiento [s]

p: paso de la cremallera [mm]

z: número de dientes del engranaje

Una vez se han obtenido estos datos de par necesario y velocidad angular necesaria, ya es posible proceder a seleccionar el motor.

Se ha seleccionado el motor DC de 12V de referencia S330012, del suministrador de componentes mecánicos Super Robótica. Este motor produce un par de 0,23 Nm, que es mayor al necesario, y gira a una velocidad de 150 rpm (más del doble de lo necesario), con un consumo inferior de 0,8 A (Super Robótica, 2018).



Figura 39. Fotografía del motor S330012 seleccionado para la compuerta de expulsión (Super Robótica, 2018)

2.4.10. Uniones atornilladas

Para las uniones entre los componentes de la estructura, así como para unir la estructura con el mecanismo de prensado, se han usado una serie de uniones atornilladas de distintas medidas métricas.

En varios casos el tamaño de los tornillos de estas uniones venía dados por el fabricante de la pieza, ya que los agujeros roscados ya venían mecanizados de fábrica. Para las otras uniones, para simplificar los cálculos, se usarán los mismos tornillos que en el caso más crítico.

En este diseño, las uniones más críticas son las que unen la parte fija de la prensa con la estructura, puesto que serán estas uniones las que absorberán la fuerza generada en la compactación de los envases.

Detrás de la parte fija hay un total de 4 montantes para absorber la fuerza. De estos 4 montantes, la parte fija va atornillada a los 2 centrales, con 2 tornillos M5 con la cabeza avellanada en cada uno. Los otros 2 montantes transversales entre las columnas son para dar mayor rigidez a la estructura. Estos montantes transversales también están collados a la parte fija de la prensa y a las guías.

Al ser equidistantes, generalmente la fuerza se repartirá entre estas 4 uniones de forma más o menos homogénea, aunque en el caso más crítico podría darse también la posibilidad de que la carga sea absorbida solo por 2 tornillos. Se estudiará esta opción para comprobar que las uniones están bien dimensionadas.

Se toma como punto de partida que se usaran roscas del M5, una longitud de 16 mm de rosca y calidad 8.8

$$\frac{F_M}{A_t} \cdot 1,35 = \frac{\sigma_p}{FS} \quad [35]$$

Donde:

d: distancia

F_M : Fuerza de montaje de la rosca [N]

A: Área resistente de la rosca [mm²]

σ_p : Tensión máxima admisible [MPa]

FS: Factor de seguridad genérico

Para este caso, los valores son $A_t = 14,2 \text{ mm}^2$, $\sigma_p = 640 \text{ MPa}$, y el factor de seguridad será 1,4 puesto que es una unión de calidad normal y cabe la posibilidad de que se tenga que desmontar. Con estos valores, la fuerza de montaje es de $F_M = 4808,47 \text{ N}$.

Una vez conocida la fuerza de montaje, se puede determinar el Momento de montaje para estos tornillos.

$$M_m = \mu \cdot d_n \cdot F_M \quad [36]$$

$$M_{prescrito} = 0,9 \cdot M_m \quad [37]$$

Donde:

d: distancia

M_m: Momento de montaje [Nm]

μ: Coeficiente de fricción

d_n: Diámetro nominal del tornillo [mm²]

F_m: Fuerza de montaje [N]

M_m: Momento de montaje [Nm]

M_{prescrito}: Momento de montaje prescrito [Nm]

Para este caso, el momento de montaje es de 4,809 Nm, así que el momento de montaje prescrito será de 4,328 Nm

Seguidamente se calculan los coeficientes de rigidez del tornillo y de los elementos. Puesto que este será un tornillo corto, donde hay rosca en toda su longitud, tan solo habrá que calcular la constante de rigidez de la zona roscada.

$$k_e = \frac{A_e \cdot E_e}{L_e} \quad [38]$$

$$k_c = \frac{A_t \cdot E_c}{L_{rosca}} \quad [39]$$

Donde:

d: distancia

k_e: constante de rigidez de los elementos [N/mm]

k_c: constante de rigidez de la parte roscada del tornillo [N/mm]

A_e: Área máxima del cono de compresión [mm²]

A_t: Área resistente de la rosca [mm²]

L_e: Longitud de los elementos [mm]

L_{rosca}: Longitud de la parte roscada del tornillo en contacto con la tuerca [mm]

Para calcular A_e , primero hay que analizar la unión para ver qué área engloba.

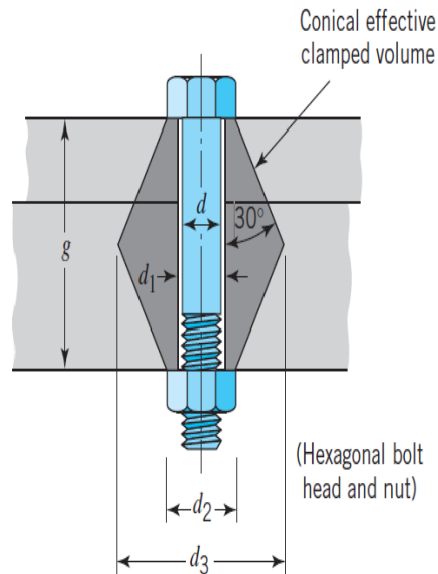


Figura 40. Cono de compresión de uno de los tornillos.

Una vez calculada la A_e , que tiene un valor de 24,287 mm², y sabiendo que el módulo de Young del acero es 210 MPa y la longitud de los elementos son 4,5 mm, se obtiene que el coeficiente $K_e=1133,394$ N/mm.

Se hace el mismo proceso con el área $A_i=14,2$ mm², el módulo de Young del acero de 210 MPa y la longitud de roscado, que en este caso es de 4, ya que solo la parte que está dentro de la parte fija de la prensa estará roscada. Esto nos da un valor de K_c de 745,5 N/mm.

Una vez obtenidos los coeficientes de rigidez, se procede a calcular las fuerzas separadoras.

$$F_{eS} = F_S \cdot \frac{k_e}{k_c + k_e} \quad [40]$$

$$F_{cS} = F_S \cdot \frac{k_c}{k_c + k_e} \quad [41]$$

Donde:

k_e : constante de rigidez de los elementos [N/mm]

k_c : constante de rigidez de la parte roscada del tornillo [N/mm]

F_{eS} : Fuerza separadora de los elementos [N]

F_{cS} : Fuerza separadora del tornillo [N]

F_S : Fuerza separadora (N)

Con los resultados obtenidos anteriormente, y sabiendo que la fuerza separadora máxima, en el peor de los casos será de 2500 N, se obtiene que:

$$F_{eS} = 1508,06 \text{ N}$$

$$F_{cS} = 991,94 \text{ N}$$

Una vez conocida la distribución de la fuerza separadora, se calcula la fuerza de los elementos para saber si se mantendrán unidos.

$$F_e = F_M - F_{eS} \quad [42]$$

$$F_c = F_M + F_{cS} \quad [43]$$

Donde:

F_{eS} : Fuerza separadora de los elementos [N]

F_{cS} : Fuerza separadora del tornillo [N]

F_M : Fuerza de montaje del tornillo [N]

F_e : Fuerza de los elementos [N]

F_c : Fuerza del tornillo [N]

Los valores de las fuerzas obtenidos son:

$$F_e = 3300,41 \text{ N}$$

$$F_c = 5800,41 \text{ N}$$

Como que la fuerza de los elementos es mayor que 0, la unión se mantendrá estable y fija.

Finalmente, calculamos el factor de seguridad de nuestro tornillo más solicitado.

$$tracción = \frac{F_c}{A_t} \quad [44]$$

$$FS = \frac{\sigma_p}{\sigma_{tracci6n}} \quad [45]$$

Donde:

FS: Factor de seguridad

F_c: Fuerza del tornillo [N]

A_t: Área resistente de la rosca [mm²]

σ_{tracción}: Tensión máxima admisible [MPa]

σ_p: Tensión máxima admisible [MPa]

Para el tornillo del proyecto más crítico en el caso más extremo, que soporta una tracción de 408,48 MPa, el factor de seguridad será de 1,567.

2.4.11. Estructura

La estructura del contenedor sirve como soporte de los elementos internos (motor, sistema de pensado, etc.) y, además, debe soportar las cargas que se produzcan durante el prensado. Por lo que el diseño y cálculo de la estructura es muy importante para garantizar el funcionamiento y larga vida del producto.

2.4.11.1. Diseño de la estructura

Para el diseño previo de la estructura se ha tenido en cuenta las estructuras de otras prensas industriales, tanto verticales como horizontales (Apolinario, 2015). El objetivo que se planteó era el de adaptar el diseño de una prensa industrial a una aplicación como la requerida para este proyecto con un redimensionamiento. La estructura estará formada por cuatro pilares unidos por montantes, como puede observarse en la figura 41.

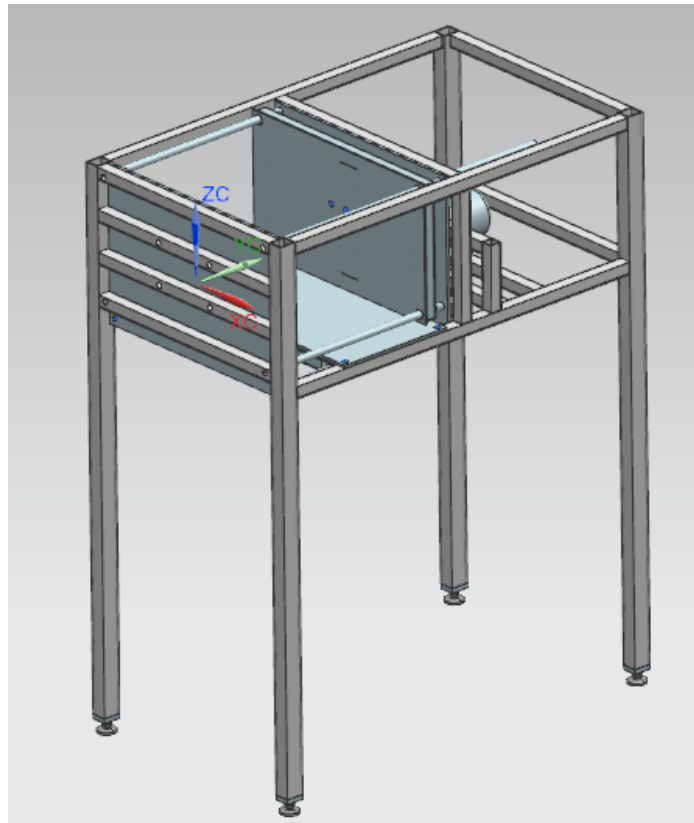


Figura 41. Imagen 3D de la estructura interna de la máquina.

El hecho de que el prensado sea horizontal y no vertical supone un problema para la estabilidad de la estructura ya que debería ir anclada al suelo o tener algún tipo de refuerzo para su estabilidad si la fuerza se realizase directamente de forma horizontal sobre los pilares.

La fuerza que produce horizontalmente la prensa se contrarresta por la fuerza de reacción del envase que sufre la compactación. Por este motivo, no se ejerce una fuerza neta sobre la estructura, sino que se produce un sistema de fuerzas en el interior de la cámara de compactación. De todas formas, sin pecar de sobredimensionamiento, se realizarán los cálculos para una fuerza neta sobre la placa fija que recibe la compactación.

La mesa donde se produce el prensado se encuentra sujeta por los montantes. Estos no soportarán grandes sollicitaciones ya que el peso del conjunto no es elevado. Aun así, se debe tener en cuenta, que según la forma del envase y como se deforme al ser comprimido, este puede ejercer presiones sobre la mesa y esta misma sobre los montantes horizontales. La mesa no tendrá la misma longitud que el conjunto del mecanismo de prensado porque debe mantenerse un espacio para la expulsión de los envases una vez han sido compactados.

Los montantes se dividirán entre montantes horizontales y montantes verticales. Como sujeción de la placa fija que recibe la fuerza de la prensa, se colocan dos montantes horizontales, además de otros dos en los extremos de la placa para dotarle de más estabilidad y seguridad.

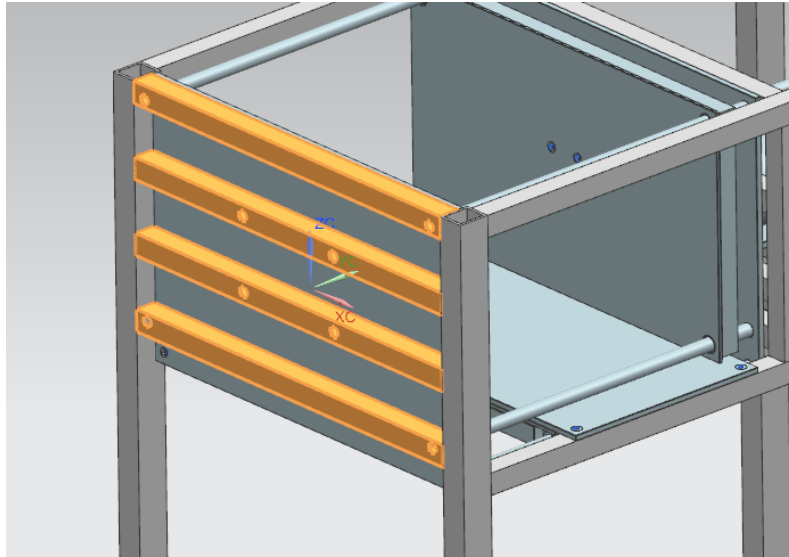


Figura 42. Imagen 3D de los cuatro montantes frontales.

La otra placa fija del mecanismo será collada a solamente dos montantes horizontales. Estos montantes también sirven como punto de soporte para atornillar las guías. Junto a estos dos montantes, en la figura siguiente, se puede apreciar otro montante más el cual no tiene ninguna función estructural, sino que sirve como apoyo del soporte del eje del mecanismo reductor. Los montantes en forma de arco que se pueden apreciar también en la figura sirven como apoyo del otro soporte del eje.

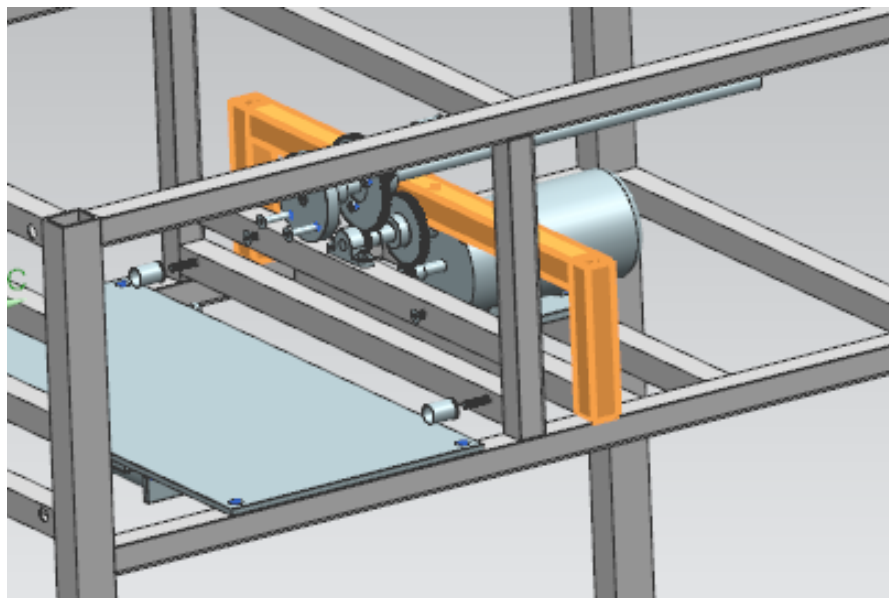


Figura 43. Imagen 3D de los montantes medios.

Por último, se sueldan dos montantes horizontales, como se aprecia en la figura 26, los cuales tienen la función de hacer de base para el soporte del motor eléctrico, sobre estos dos montantes recae la función de soportar el motor. Estos montantes no generarán ningún problema en su función ya que, como se ha comentado anteriormente, los montantes se encuentran ligeramente sobredimensionados debido a que todos se han fabricado con la sección del montante más crítico, que en este caso es el que recibiría la hipotética máxima fuerza horizontal generada por la prensa.

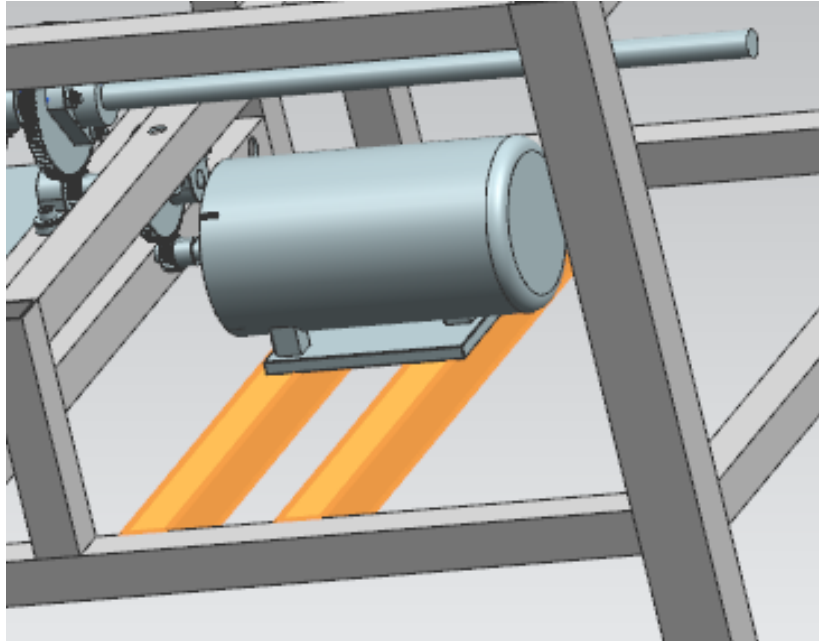


Figura 44. Imagen 3D de los montantes que soportan el motor DC.

El resto de los montantes, junto con los pilares, tienen la función de proporcionar equilibrio y robustez a la estructura.

Los pilares y montantes se unirán mediante soldadura para facilitar su montaje y reducir los costes de fabricación. El resto de las partes se unirán mediante uniones atornilladas las cuales deberán ser dimensionadas para garantizar el rendimiento de la estructura y su durabilidad. Además de escoger las uniones adecuadas en cuanto a precio y características.

2.4.11.2. Dimensionado de la estructura

A continuación, se presenta el cálculo y dimensionado de la estructura. Se dimensionarán por separado pilares y montantes. La fuerza horizontal del prensado se dividirá en dos ya que cada pilar soportará la mitad de la fuerza, estando la estructura equilibrada.

2.4.11.2.1. Cálculo de los montantes

Los cálculos se realizarán sobre los montantes que soportan la fuerza del compactado ya que los demás se encuentran menos solicitados. El resto de los montantes se fabricarán con el mismo tipo de barra que los críticos para homogenizar la estructura y complicar menos el diseño, además de abaratar costes de compra.

Como punto de partida, se determina que serán cuatro barras horizontales las que deban soportar toda la fuerza ejercida por la prensa sobre una placa de aluminio la cual repartirá esta fuerza de forma igual sobre todas las barras. Para el cálculo se esquematizan las barras (viga a partir de ahora) como cuatro vigas horizontales con dos apoyos articulados a los extremos, ya que es un caso más crítico que con empotramientos.

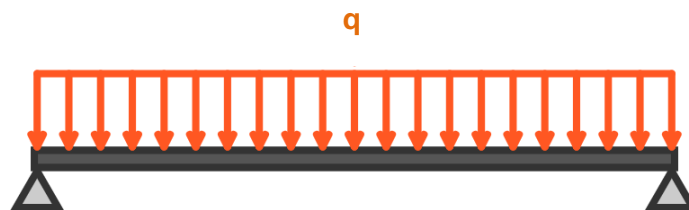


Figura 45. Esquema de una de las vigas que soportan la fuerza horizontal del prensado.

La carga, como se ha comentado anteriormente, es una carga repartida debido que la placa que recibe la fuerza provoca que se reparta la fuerza entre todas las vigas de forma equilibrada.

Los resultados de los cálculos que se presentan a continuación se recogen en las tablas del anexo 1.3. Se ha realizado una tabla de cálculo para poder valorar distintos tipos de materiales con distintos límites elásticos para escoger el óptimo para la aplicación. Se ha analizado la posibilidad de fabricar las vigas en acero calidad S235 y en varios tipos de aluminio. Los aluminios escogidos para el estudio son los que recoge Robert L. Mott en el libro *Diseño de elementos de máquinas* como los aluminios típicos en máquinas (Mott, 2006).

El valor de la fuerza (F) que ejerce el sistema de prensado, que como se ha comentado anteriormente será de un valor máximo de 2500N, se divide entre cuatro ya que ambas vigas recibirán la mitad de dicha fuerza. La carga (q) se calcula de la siguiente forma:

$$q = \frac{F/4}{L} = \frac{2500 \text{ N}/4}{375 \text{ mm}} = 1'667 \text{ N/mm}^2 \quad [46]$$

Donde:

q: carga repartida sobre una viga [N/mm²]

F: fuerza máxima que ejerce el sistema de prensado [N]

L: longitud de la viga [mm]

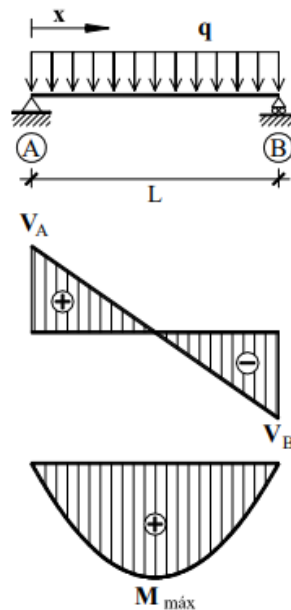


Figura 46. Diagramas de fuerza cortante y momento flector de una viga con dos articulaciones (Bañón, 2009)

Como se puede observar en la figura 46, donde se expresan los diagramas de fuerza cortante y momentos flectores de una viga con dos articulaciones, el máximo momento flector se dará en el centro de la viga.

El momento flector máximo en una viga con dos apoyos fijos y carga uniformemente repartida por toda su longitud es:

$$M_{f_{máx}} = \frac{q L^2}{8} \quad [47]$$

Donde:

$M_{f_{máx}}$: momento flector máximo en una viga con dos apoyos fijos [Nm]

q: carga repartida sobre una viga [N/mm²]

L: longitud de la viga [mm]

Una vez encontrado el M_f es posible encontrar el momento resistente mínimo (W_{\min}) que debe cumplir la viga. Este dato es imprescindible para la selección de perfil o tubo óptimo para las vigas:

$$\frac{M_{f_{\max}}}{W_{\min}} \leq \sigma_{adm} \quad [48]$$

Donde:

$M_{f_{\max}}$: es el momento flector máximo de la viga [Nm]

W_{\min} : es el momento resistente mínimo que debe cumplir la viga [cm³]

σ_{adm} : es el límite elástico admisible [MPa]

El límite elástico admisible se determina haciendo la relación entre el límite elástico del material y el coeficiente de seguridad de la viga (CS=2):

$$\sigma_{adm} = \frac{\sigma_{el}}{CS} \quad [49]$$

Donde:

σ_{adm} : límite elástico admisible [MPa]

σ_{el} : límite elástico del material [MPa]

CS: coeficiente de seguridad

Aislando el momento resistente (W) de la ecuación [48]:

$$W_{\min} \geq \frac{M_{f_{\max}}}{\sigma_{adm}}$$

Se puede observar en la tabla 8 los resultados obtenidos en los cálculos. Se aprecia que en general son valores del módulo resistente bastante pequeños ya que la estructura no recibe grandes solicitaciones.

Material	Wmin (cm3)
Acero S235	0,249
Al-1060	1,953
Al-1200	1,723
Al-1350	1,953
Al-2014-T4	0,213
Al-2017-T4	0,225
Al-2024-T3	0,212
Al-2219-T4	0,249
Al-3003	0,404
Al-5052	0,293
Al-6060	0,651
Al-6061-T4	0,532
Al-6082-T4	0,344
Al-6063-T5	0,335
Al-7001-T6	0,175
Al-7075-T6	0,130

Tabla 8. Momentos resistentes mínimos que cumplir por vigas de distintos materiales.

Una vez encontrados los valores del momento resistente mínimo, debe hallarse el momento de inercia mínimo (I_{\min}) en cada material, para determinar el perfil adecuado del material que finalmente sea seleccionado.

Para ello se requiere conocer la ecuación que determina la deformación máxima (f_{\max}) que se producirá en una viga con dos apoyos articulados en ambos extremos y una carga repartida por toda su longitud de forma uniforme. Dicha ecuación es:

$$f_{\max} = \frac{5qL^4}{384EI} \quad [50]$$

Donde:

q: carga repartida sobre una viga [N/mm]

L: longitud de la viga [mm]

E: módulo de Young del material [MPa]

I: momento de inercia [mm⁴]

Esta deformación máxima deberá ser más pequeña o igual que la deformación admisible (f_{adm}). Esta deformación se define por las condiciones de construcción de la estructura, en este caso se ha decidido darle un valor de $f_{\text{adm}} = L/500$, ya que es un valor bastante restrictivo.

El valor mínimo del momento de inercia se determina aislando de la siguiente inecuación:

$$f_{m\acute{a}x} \leq f_{adm} \quad [51]$$

$$\frac{5qL^4}{384EI} \leq \frac{L}{500} \rightarrow I_{m\acute{i}n} \geq \frac{5qL^4 500}{384EL}$$

En la tabla 9 se observa que los valores del momento de inercia mínimo a cumplir por los perfiles son, al igual que en el caso de los módulos resistentes, valores bastante bajos. Como este valor solamente dependía del módulo de Young de cada material, el momento de inercia mínimo para todos los aluminios será el mismo.

Material	Imin (cm4)
Acero S235	0,27247838
Aluminio	0,817435128

Tabla 9. Momentos de inercia mínimos que cumplir por vigas de distintos materiales.

Con los resultados anteriores se puede concluir que la decisión del material de los montantes no se realiza por las propiedades mecánicas o físicas necesarias, ya que, tanto el acero como la mayoría de los aluminios analizados, cumplen con creces los requisitos mecánicos. Por lo tanto, la decisión se basa en otros aspectos.

El material escogido finalmente es el acero S235. Se ha escogido este material por encima de los aluminios por razones económicas principalmente y porque es un material muy fácil de soldar, que para el montaje de la estructura era un dato para tener en cuenta. Si bien es cierto que el aluminio es más ligero, las razones anteriores predominan por encima de este inconveniente.

Tras analizar todos los perfiles normalizados existentes para tubos de acero, se ha decidido escoger montantes en forma de tubo con sección cuadrada. Los tubos con sección cuadrada permiten más posibilidades de atornillado en distintas posiciones además de tener una mejor presencia estética que otros perfiles. Analizando la tabla de perfiles normalizados del anexo 2.2., se ha determinado que cualquier sección sería válida para la aplicación. Por lo tanto, la sección mínima de los tubos será de 20x20 mm con un grosor de 1'5 mm.

2.4.11.2.2. Cálculo de los pilares

La estructura estará sujeta sobre cuatro pilares, los que proporcionan la altura al mecanismo necesaria, ya que este debe estar elevado, y además se encargan de la estabilidad del contenedor.

Los cuatro pilares se encuentran sujetos, como se ha comentado anteriormente, por los montantes los cuales también sirven de soporte para la mesa de compactación, estos han sido dimensionados en el apartado anterior.

Para el dimensionado de los pilares, se ha analizado la estructura como si tuviese dos partes, la izquierda y la derecha de la zona de prensado. Por lo tanto, las fuerzas y solicitaciones se dividirán en dos. Como se ha comentado anteriormente, la estructura no recibe una fuerza neta sobre ella ya que estas se encuentran dentro del sistema de fuerzas interno en la cámara de compactación, pero para asegurar el buen funcionamiento y durabilidad de la estructura se tomará un caso extremo como el dibujado en el siguiente croquis:

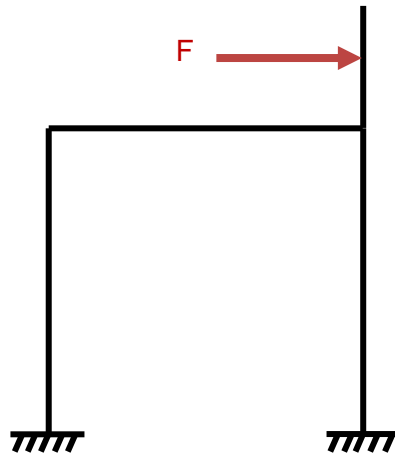


Figura 47. Croquis de la estructura interna de la máquina.

El análisis se realizará para encontrar la sección adecuada del tubo para los pilares, ya que el material será el mismo que para los montantes para facilitar su montaje y fabricación además de reducir costes.

Para el análisis de la estructura se consideran los montantes uniones fijas y la base se considera encastada. Realmente no estará encastada al suelo, sino que tendrá unas patas de *silentblock*, se profundiza más en ellas más adelante, se le colocarán estos pies de máquina ya que deberá ser un contenedor transportable. Aun así, el estudio se realiza con estas suposiciones ya que las solicitaciones son tan pequeñas que pueden aproximarse los resultados.

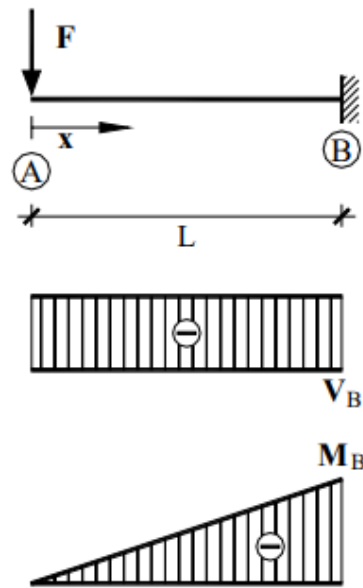


Figura 48. Diagramas de fuerza cortante y momento flector de una viga encastada (Bañón, 2009)

Realizando el sumatorio de momentos en los empotramientos, se determina que el empotramiento más solicitado a flexión es el izquierdo del croquis de la figura 47.

Al igual que en el caso de los montantes, se aproximan los pilares a una viga, en este caso empotrada en su base, como se observa en la figura anterior, los diagramas son distintos que para una viga con dos articulaciones.

En este caso la carga será puntual no repartida ya que esta se realiza sobre otra barra la cual transmite la fuerza al pilar mediante la unión entre ambos. Esta carga será la mitad de la F de compactación, ya que se divide en dos estructuras laterales formadas por dos pilares cada una.

Como se observa en la figura 48, el momento flector máximo se da en el empotramiento. Este momento flector provocará una deformación por flexión del pilar en la dirección de la fuerza y tendrá un valor, según los datos del programa CYPE 3D, de 210000 Nmm.

Una vez obtenido el momento flector máximo del pilar, se procede a los mismos cálculos del apartado 2.4.11.2.1. En este caso no se ha realizado el mismo estudio anterior con diversos materiales, sino que solamente con el acero S235, para realizar toda la estructura del mismo material y así abaratar costes y facilidad de fabricación.

Con la ecuación [49] se determina el límite elástico admisible. El valor del límite elástico del acero S235 es de 235 MPa. Se mantiene el valor del coeficiente de seguridad en 2:

$$\sigma_{adm} = \frac{\sigma_{el}}{CS} = \frac{235 MPa}{2} = 117'5 MPa$$

Donde:

σ_{adm} : límite elástico admisible [MPa]

σ_{el} : límite elástico del material [MPa]

CS: coeficiente de seguridad

Tomando la ecuación [48], se encuentra el valor mínimo de momento resistente que debe cumplir el perfil del pilar.

$$\frac{M_{f\max}}{W_{\min}} \leq \sigma_{adm} \rightarrow W_{\min} \geq \frac{M_{f\max}}{\sigma_{adm}} = \frac{210000 Nmm}{117'5 MPa} = 1787'2 mm^3 = 1'79 cm^3$$

Donde:

W_{\min} : momento resistente mínimo a cumplir por el pilar [cm³]

$M_{f\max}$: momento flector máximo del pilar [Nmm]

σ_{adm} : límite elástico admisible [MPa]

Una vez se conoce el momento resistente mínimo, que en este caso es de 1'79 cm³, al igual que en el proceso anterior, se debe calcular el momento de inercia mínimo, y con esos dos valores será posible escoger el perfil adecuado de acero S235 para esta aplicación.

Para encontrar el módulo de inercia, debe conocerse la ecuación para la flecha máxima en una barra empotrada por su base. Esta deflexión máxima se produce en el mismo punto donde se encuentra la fuerza cortante máxima, y se determina de la siguiente forma:

$$f_{m\acute{a}x} = \frac{FL^3}{3EI} \quad [52]$$

Donde:

F: fuerza de compactación, será dividida entre dos [N]

L: altura del pilar [mm]

E: módulo de Young del acero (210000 MPa) (Gordon, 2004)

I: momento de inercia [mm⁴]

En este caso, se fija como valor de la deformación admisible (f_{adm}) L/50.

Con la ecuación [51], aislamos el valor del momento de inercia mínimo:

$$\frac{FL^3}{3EI} \leq \frac{L}{50} \rightarrow I_{min} \geq \frac{FL^3 500}{3EIL} = \frac{1250N \cdot 500^3 mm \cdot 50}{3 \cdot 210000 MPa \cdot 500 mm} = 24801'59 mm^4 = 2'48 cm^4$$

Material	Wmin (cm3)	Imin (cm4)
Acero S235	1'79	2'48

Tabla 10. Valores del momento resistente y de inercia mínimos para el acero S235

Con los valores mínimos a cumplir por el perfil del momento resistente y el momento de inercia se puede seleccionar la sección adecuada. Se ha decidido optar por una sección rectangular en lugar de cuadrada por motivos estéticos y de montaje, ya que si fuese cuadrada podrían surgir problemas al ensamblar los pilares con los montantes. Observando la tabla de perfiles rectangulares normalizados para el acero S235 del anexo 2.3, la sección más pequeña posible que cumpla con estos valores mínimos sería la sección de 30x25 mm y un grosor de pared de 2'5 mm.

2.4.11.3. Materiales y tratamientos de la estructura

Tal y como se ha especificado en los apartados anteriores, con el objetivo de abaratar y homogenizar la estructura, toda ella se realizará de acero S235. El acero se ha seleccionado por encima de los aluminios por razones económicas principalmente, y además, es más fácil de soldar y montar que los aluminios. Estas ventajas prevalecen por encima de las desventajas de ligereza y propiedades que ofrece el aluminio.

La mayoría de los envases que el contenedor debe compactar contienen líquidos. En el manual de usuario adjunto a este proyecto, se recomienda introducir los envases en el contenedor con un previo vaciado y limpieza. Aun así, hay que tener en cuenta que se derramarán líquidos sobre el mecanismo y la estructura. Por eso mismo, el acero, al ser un material oxidable, debe recibir un tratamiento antes de ser instalado. El tratamiento que se les aplicará a los componentes de la estructura es el de galvanizado.

Las capas de zinc que se le añaden al material en el proceso de galvanizar dotan al acero de una buena resistencia a la oxidación. El zinc además es un material muy resistente a ralladuras y ofrece un aspecto más atractivo que el acero sin tratamiento. Una capa de zinc de 0'1 mm garantiza una duración de unos 70 años de los materiales tratados (Curiosoando, 2014).

Debido a que el proceso de galvanizar una barra de un grosor inferior a 3mm puede no obtener los resultados deseados, las barras que se adquirirán finalmente serán tubos galvanizados de fábrica *sendzimir*, los cuales son tubos fabricados a partir de una chapa previamente galvanizada con un tratamiento posterior de recubrimiento.

2.4.11.4. Soportes inferiores de la máquina

La estructura del contenedor, como se ha avanzado en el punto anterior, no puede estar anclada al suelo ya que debe ser un equipo transportable. Con el análisis estructural realizado en los puntos anteriores, se ha determinado que los pies de la estructura no reciben una gran sollicitación por lo que no es un punto preocupante. La opción que se ha decidido instalar como soporte son cuatro patas de *silentblock*. Se ha escogido este sistema tomando como ejemplo las máquinas de gimnasio, las cuales tampoco se encuentran ancladas al suelo, pero requieren una sujeción adecuada.

El *silentblock* se trata de un bloque normalmente fabricado de caucho o tejido de acero inoxidable, el cual absorbe vibraciones y proporciona nivelación al elemento mecánico en el cual se le instala. El ajuste de nivelación con la máquina se logra mediante una tuerca de unión entre ambos. Estos pies de máquina soportan altas axiales y sujetan la máquina para ciertas fuerzas transversales.

Para la unión de las patas con los pilares, que son tubos rectangulares, se instala una placa a las cuatro bases de los pilares con las mismas dimensiones exteriores que el propio tubo y de un grosor de placa de 8mm. En el medio de esta misma placa se realiza un agujero pasante por donde se introducirá la barra roscada del pie de máquina. Mediante la tuerca de sujeción de los *silentblock* se ancla el pie a la estructura.

El modelo seleccionado es un pie nivelador de poliamida modelo 12648/10 de la empresa Talleres Egaña, S.L. Se ha seleccionado este modelo porque cumple con los requisitos, que son mínimos para esta aplicación, y a un precio competitivo con el resto de los fabricantes. Se trata de un pie de máquina con una espiga roscada de diámetro M10 y altura de 100 mm. Este pie de máquina es capaz de soportar hasta 1000kg de fuerza axial, valor muy por encima del que deberá soportar en el contenedor (Talleres Egaña, S.L., 2018).



Figura 49. Fotografía de uno de los pies niveladores 12648/10, sin la rosca. (Talleres Egaña, S.L., 2018)

2.5. Carcasa exterior

El contenedor necesita una carcasa exterior que aisle el mecanismo interior y el cubo de basura del usuario. Es un componente esencial para garantizar la seguridad de la persona que esté en contacto con la máquina, ya que, tanto la prensa como los componentes mecánicos internos pueden ser peligrosos.

La carcasa exterior tiene como principal función la de aislar al usuario del interior de la máquina, pero a su vez también se trata del componente que se encuentra a la vista de los usuarios. Por lo tanto, la carcasa, aparte de proteger, también le otorga una imagen al producto.

El diseño de la carcasa se basará en los electrodomésticos tales como las lavadoras, lavavajillas, nevera, etc. Estos también cuentan con una carcasa que aísla al usuario del interior de la máquina. Para el contenedor, se ha diseñado una carcasa la cual otorga una imagen de modernidad al producto además de diferenciarlo de un electrodoméstico normal, por eso mismo se ha diseñado de un color diferencial al blanco o gris típico que se encuentra en las cocinas de hoy en día. Además, con el aspecto que se le desea otorgar al producto, se pretende que no se encasille el contenedor como un equipo solamente destinado a ser colocado en una cocina, sino que pueda colocarse en otros espacios del hogar incluso públicos.

La carcasa estará formada por dos grandes partes: la inferior y la superior. La parte superior permite al usuario abrirla mediante una cerradura para que los operarios o el propio usuario

puedan acceder al mecanismo para operaciones de reparación o mantenimiento. En la parte superior también se encontrará la compuerta por donde se introducirán los envases destinados a ser compactados. Dicha compuerta será de 171 mm de diámetro, el cual se han determinado para el envase más grande que puede ser compactado. Los envases de dimensiones mayores no son susceptibles de ser compactados por este contenedor. En la parte inferior también se dispondrá de una compuerta más pequeña por donde se introducirán los residuos que no deban ser compactados (envoltorios, bolsas, tapas, etc.) los cuales caerán directamente al cubo, las dimensiones de esta compuerta serán de 200x50 mm Y por supuesto, la parte inferior debe poder abrirse también para poder realizar el cambio de bolsa de basura una vez el cubo está lleno.

En la parte superior de la carcasa también se encontrarán las señales de alerta para el usuario, las cuales se sitúan justo al lado del botón de accionamiento para facilitar la captación visual de dichas señales.

Para el material con el que se fabrica la carcasa, se ha utilizará el mismo que se utiliza para las carcasas de electrodomésticos ya que cumple la función requerida. Este componente, más allá de su diseño estético y dimensional, no requiere realizar cálculos para su diseño ya que la carcasa no soporta ninguna sollicitación mecánica.

En este proyecto no se entra en profundidad al diseño de la carcasa ya que, al centrarse en el diseño de un prototipo final, no sería un componente importante para verificar la funcionalidad del producto, sería un proceso de diseño posterior una vez el producto en su interior estuviese totalmente verificado.

2.6. Materiales

Uno de los puntos importantes en el diseño de máquinas es el de la selección de materiales. Cada componente o pieza deberá fabricarse en el material idóneo para realizar su función y asegurar una larga vida útil.

La selección del material adecuado para cierta aplicación debe hacerse teniendo en cuenta un gran número de propiedades mecánicas y físicas. En muchos casos, esta selección se realiza a través de la experiencia y aplicaciones previas (por ejemplo, el acero 1020 siempre es un buen candidato por sus múltiples atributos positivos), pero en otros casos, este proceso puede ser complicado y suponer un problema añadido al diseño (Riba Romeva, 2008).

M. F. Ashby ha desarrollado un método sistemático que se basa en el uso de gráficas de selección de materiales. Este método se implementa en un paquete de software llamado *CES EduPack* el cuál se ha utilizado en su versión 2017 para este proyecto. Estas gráficas presentan materiales o familias de materiales colocados según los parámetros de los ejes, para seleccionar de una forma visual el material óptimo.

En este proyecto la selección de los materiales se realiza de forma aproximada y teórica ya que para una aplicación real el material seleccionado debería ser verificado mediante pruebas y

análisis de falla de los componentes.

La tabla 8 presenta una lista de características generales para la aplicación componentes de una máquina. Una vez entendidas las exigencias de la aplicación, se puede hacer una selección previa de los materiales o familias que cumplan estas necesidades. En los anexos, se proporcionan fuentes de información útiles para esta selección.

Características generales de la aplicación
Capacidad (de potencia, de carga, térmica)
Movimiento (cinemática, vibración, dinámica, grado de control)
Interfaces (apariencia, límites de espacio, tipo de carga, compatibilidad ambiental)
Coste
Vida
Confiabilidad
Seguridad y salud
Ruido
Mantenimiento
Geometría
Rigidez
Estabilidad elástica
Peso
Incertidumbres (carga, ambiente, coste)

Tabla 11. Características generales de una aplicación. (Juvinal, y otros, 2013)

Los principales factores que marcan la decisión de un material por encima de otro para las aplicaciones que se requieren son:

1. Disponibilidad
2. Coste
3. Propiedades del material (mecánicas, físicas, químicas, dimensionales)
4. Procesos de fabricación (maquinado, conformado, para uniones, acabados, etc.)

La tabla 12 muestra la lista de los factores relacionados con estos parámetros de selección que deben tenerse en cuenta en el proceso de selección.

Características del material
<i>Propiedades mecánicas</i> (resistencia, elasticidad, dureza, relación de Poisson, amortiguamiento, tensión, compresión, impacto, tenacidad, fatiga, deformación plástica, desgaste, rigidez, corte)
<i>Propiedades físicas</i> (densidad, eléctricas, magnéticas, ópticas, conductividad, expansión, inflamabilidad, punto de fusión, calor específico, emisividad, absorbancia)
<i>Propiedades químicas</i> (corrosión, degradación, composición, adhesión, estructura, oxidación, estabilidad, fragilización, factores ambientales)
<i>Propiedades dimensionales</i> (tamaño, forma, lisura, perfil, acabado superficial, estabilidad, tolerancias)
<i>Procesos de fabricación</i> (moldeado, recubrimiento, tratamientos térmicos, templabilidad, conformado, maquinado, unión, soldadura)
<i>Disponibilidad</i> (en existencias, compra externa, requisitos de orden, proveedores, requerimientos de procesamiento especial de fabricación)
<i>Coste</i> (materia prima, cantidad requerida, predicción vida útil, fabricación adicional requerida)
<i>Consideraciones legales</i> (cumplimiento códigos, ambientales, salud, reciclado)

Tabla 12. Características del material. (Juvinali, y otros, 2013)

Tras el análisis de las características anteriores las consideraciones que deben tomarse son:

- Los componentes del mecanismo de compactación son de acero, debido a que cumple las propiedades físicas y mecánicas necesarias. La opción de que los componentes fuesen de aluminio constructivo se descartó por razones económicas y de comodidad en el montaje, aunque se planteó seriamente esta opción por la reducción de peso que suponía realizarlo en aluminio.
- El sistema de guiado de la prensa requiere un material con un tratamiento de cromado ya que lo exige su aplicación. Además de considerarse un material que proporcione una larga vida útil. Por otro lado, es necesario que sea un material con capacidad de ser lubricado.
- La estructura interna de la máquina se fabricará, al igual que el mecanismo, con acero. Por las mismas razones del primer punto, el aluminio a pesar de ser más ligero es más caro y difícil de soldar.
- En cuanto a los elementos de unión, se adquieren elementos ya existentes en el mercado y normalizados.

- La carcasa exterior no requiere de unas propiedades mecánicas determinadas, pero si se tendrán en cuenta propiedades físicas como el aspecto, capacidad de ser coloreados y el deterioro. Se ha seleccionado el plástico al ser más ligero y barato que un material metálico.
- Para el resto de los componentes del producto se analizan materiales utilizados en otras aplicaciones similares.
- El sistema de accionamiento del prensado será adquirido de forma externa, en el apartado 2.4.4 se justifica su selección. En el anexo 3.2. se especifican sus materiales.

En la tabla 10 se expresa la lista de materiales de los componentes del producto. No se especifica el material de componentes los cuales requieren de un cálculo previo que se realizará más adelante, como el husillo o el sistema de guiado.

Componente	Material
Componentes del mecanismo de prensado (prensa, soportes, mesa del prensado)	Acero S235 galvanizado
Guías cilíndricas	Hierro calibrado cromado
Estructura (vigas, pilares)	Acero S235 galvanizado
Elementos de unión	S/N DIN
Carcasa exterior	ABS
Otros componentes	Acero S235 galvanizado

Tabla 13. Listado de materiales utilizados para los componentes de la máquina.

NOTA: Los materiales de los componentes no especificados en la tabla anterior, pueden consultarse en el anexo 3.

CAPÍTULO 3. Desarrollo del sistema electrónico

3.1. Electrónica del proyecto

La electrónica del contenedor ha sido diseñada a partir de las funciones que se han creído necesarias que deba tener para aportarle valor al producto.

En términos generales, se ha intentado que el contenedor sea lo más automático posible para que el usuario no tenga que hacer nada más que meter el envase en el contenedor. De esta forma se descartaron las opciones de compactado manual, como otros contenedores del mercado, mejorando así de forma considerable la comodidad del usuario en el momento del compactado ya que se evita realizar esfuerzos físicos, se reducen los peligros y otras posibles molestias como salpicaduras.

En los siguientes apartados se analiza qué sensores se han introducido en el proyecto, comparándolos con otras soluciones y argumentando por qué se escoge cada uno, así como el conexionado de estos con el microcontrolador. También se describe qué configuraciones y ajustes se deben hacer previamente a los sensores para poder ser usados con normalidad y qué funcionamiento tiene el contenedor o qué lógica usa el microcontrolador.

En los siguientes puntos se analiza cuál es el funcionamiento del contenedor, los problemas que se encuentran a la hora de automatizar el proceso, las posibles soluciones que se podrían implementar y cuál es la solución escogida basándose en cuál es la que brinda una mejor solución.

3.2. Características añadidas al contenedor

Mediante un *brainstorming* inicial se plantearon muchas posibles características que se lo podían añadir al contenedor, algunas para solucionar problemas y otras para aportar valor al producto. Se definieron cuáles eran las funciones que se deseaba que el contenedor pudiese cumplir, así como las medidas de seguridad obligatorias que debía cumplir el producto.

Una vez definido lo que se necesita, se puede pasar a buscar el componente que puede dar solución a dicha necesidad. En los apartados que siguen a continuación, se presentan los sensores o componentes electrónicos seleccionados y que lógica de control siguen. Para cada solución existen diversas opciones distintas que se podrían aplicar según el proyecto, en las siguientes líneas también se detalla porqué se ha seleccionado esa opción por encima de las demás opciones viables.

Además de los sensores que contendrá el contenedor, también se han explicado cómo se deberían conectar y configurar algunos sensores que podría contener el contenedor pero que se ha decidido descartar por diversos motivos.

3.2.1. Control y alimentación de los sensores y actuadores

El control de todos los sensores y los actuadores se realiza mediante el microcontrolador Arduino ya que este ofrece una solución barata y fácil de programar.

Arduino proporciona 14 pines digitales y 6 pines analógicos, pudiendo estos últimos usarse como pines digitales. Además, tiene también salidas de 5V y 3,3V para alimentar los sensores, módulos e indicadores (ESAIL, 2018).

Un detalle para tener en cuenta es que, aunque se disponga de salidas de 5V y 3,3V, solo es capaz de suministrar 50mA, por lo que se debe vigilar que se conecta ya que conectando sensores que consuman más que este valor no serían alimentados correctamente.

3.2.2. Activación del compactado

El proceso de compactación, tal y como se ha presentado en el capítulo 2, se trata de una prensa de recorrido horizontal accionada por un motor eléctrico que le transmite el movimiento mediante un husillo de bolas. Claro está, que el motor solo debe estar activado cuando es necesario compactar un envase. Para ello se plantearon dos opciones: que la activación fuese mediante un interruptor/botón o que fuese de forma automática al detectar que se había introducido un envase.

Para lograr la activación automática debería el propio contenedor detectar el envase, pero hay que tener en cuenta que no solo se van a compactar envases del mismo material, medida, peso y/o forma. Además, como la zona de compactación es plana es impredecible saber dónde quedará situado el envase, por lo que detectar los envases dentro de la cámara de compactación sería muy complicado. Esto solo deja pie a que la detección se diese en la compuerta de entrada de envases, en el momento de la introducción. Pero si la compactación se iniciase con el cierre de la compuerta, existe el problema que se realizasen compactaciones sin envases en el interior lo que comportaría un desgaste y consumo inútil.

En el caso de usar un sensor óptico de barrera en los marcos de la puerta, podría ocasionar que no se detectasen los envases más pequeños como podría ser una lata ya que el diámetro de esta (6.5 cm) es inferior a la mitad de la altura de la puerta. Este hecho obligaría a poner como mínimo dos sensores ópticos para evitar este error.

La opción seleccionada finalmente para el proyecto es que la activación se realice mediante un botón/tecla, ya que se ha determinado como la opción más sencilla de instalar y controlar, además de ser la solución que aporta más seguridad ya que tiene menos margen de error que las anteriormente citadas.

3.2.2.1. Conexión de la tecla de inicio con el microcontrolador

Para realizar el conexionado de la tecla con Arduino, se ha decidido implementar una resistencia *Pull-Up* para polarizar la salida y conseguir así un valor lógico de 1 en reposo. De esta forma, cuando se cierra el circuito, se recibirá un valor bajo o 0V. Para ello se ha colocado una resistencia de 10k antes de la tecla, y entre estos irá colocado el Pin 4 de Arduino que recibirá el valor.

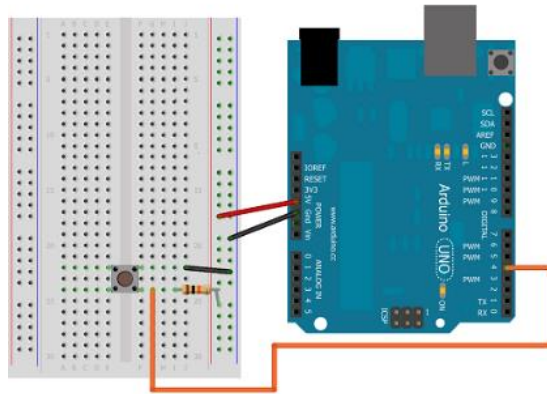


Figura 50. Conexión entre Arduino y el botón de inicio.

3.2.3. Control del motor

Al tratarse de un motor muy potente (en comparación a la potencia que puede suministrar el microcontrolador) se necesitará un módulo y una fuente de alimentación externa para su funcionamiento y control.

Para el control se ha decidido usar el módulo IBT-2. Se trata de un *driver* (controlador) basado en 2 chips BTS7960 como puente en H para el control de motores de CC. Se ha decidido escoger este *driver* ya que es capaz de regular hasta 48A y 27V, más que suficiente para el control del motor que se va a utilizar.

3.2.3.1. Conexión del motor con el microcontrolador

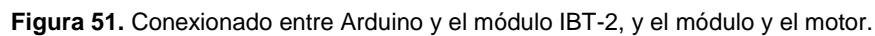
El módulo dispone de 8 pines para el control del motor, de los cuales únicamente se usarán 6. Los pines son los siguientes:

- RPWM – Señal de entrada (PWM) para el giro horario.
- LPWM – Señal de entrada (PWM) para el giro antihorario.
- R_EN – Habilitación de la salida para el giro horario.
- L_EN – Habilitación de la salida para el giro antihorario.
- R_IS – Lectura de corriente del giro horario.
- L_IS – Lectura de corriente del giro antihorario.
- Vcc – 5V. Conectado al microcontrolador.
- GND – Terminal de tierra.

Estos irán conectados a los siguientes pines del Arduino:

- RPWM – PIN 5 (salida PWM de Arduino)
- LPWM – PIN 6 (salida PWM de Arduino)
- R_EN – PIN 8
- L_EN – PIN 7
- Vcc – 5V Arduino
- GND – GND Arduino
- R_IS – PIN A3 (salida analógica de Arduino)
- L_IS – PIN A4 (salida analógica de Arduino)

Las salidas RPWM y LPWM irán conectadas a los pines 5 y 6 ya que son dos de los 6 pines que admitan salida como moduladores de pulso. Las lecturas de intensidad estarán conectadas a pines analógicos ya que se debe leer el valor de un rango de tensión.



3.2.3.2. Alimentación del motor

Para esta función se ha decidido implementar un rectificador de onda completa con puentes de diodos con su respectivo filtro. Este será el encargado de alimentar tanto los dos motores como el microcontrolador y sus sensores. Se ha decidido no usar rectificadores para la alimentación de los motores por el hecho de que una pequeña variación de tensión en la alimentación de estos no afecta a su correcto funcionamiento.

Teniendo los valores de alimentación del motor (12V y 10A) y los valores de la red doméstica el circuito queda de la siguiente manera:

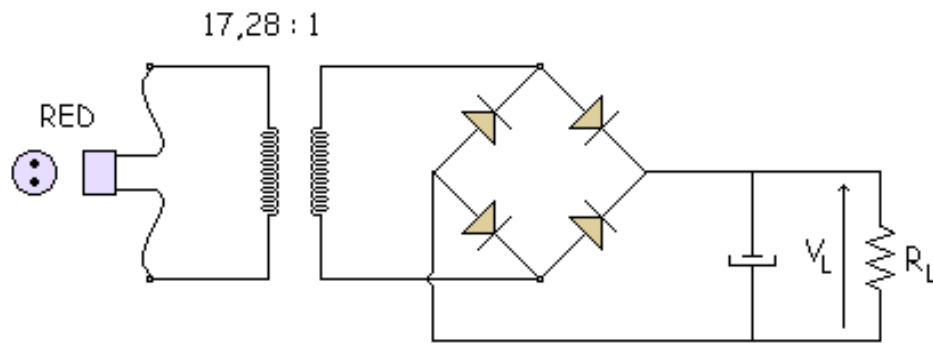


Figura 52. Conexión entre Arduino y el botón de inicio.
(Villacriz, 2009)

En esta representación la resistencia R_L hace referencia al conjunto de resistencias que ofrecen los motores y el microcontrolador.

Se debe encontrar cual es el valor del condensador que debe usarse como filtro, así como escoger los diodos que puedan resistir el amperaje al que serán sometidos en el peor de los casos.

Para el control del motor principal, se regulará la corriente de entrada para evitar que haya picos en los arranques y por el hecho de que no se necesita el par extra que estos ofrecen. Gracias al control se tendrá una corriente nominal constante.

3.2.3.2.1. Elección de un transformador estándar

Para escoger el transformador, lo primero que se debe saber es cuál será el valor eficaz que éste debe suministrar, por lo que, si se quieren 12V en la salida, lo mínimo que se deberá tener en ésta serán de 12V. Esto se tiene en cuenta por el hecho de que la tensión que se va a suministrar no serán 12V en el caso de que se escoja un transformador de 230V a 12V, sino que este valor irá oscilando entre este y su valor máximo, el cual se calculará multiplicando el valor de la tensión eficaz por raíz de dos. En el caso de usarse un transformador de 230-12V el cálculo será el siguiente: (Soria Perez, 2016)

$$V_p = V \cdot \sqrt{2} \quad [53]$$

Donde:

V_p : Tensión de pico [V]

V : Tensión eficaz [V]

$$V_p = 12 \cdot \sqrt{2} = 16.97V \approx 17V$$

Por lo que el valor medio será de:

$$V_m = \frac{V_p - V}{2} + V \quad [54]$$

Donde:

V_p : Tensión de pico [V]

V_m : Tensión media [V]

V : Tensión eficaz [V]

$$V_m = \frac{17 - 12}{2} + 12 = 14.5V$$

En el caso de escoger un transformador de 230-10V el cálculo será el siguiente:

$$V_p = 10 \cdot \sqrt{2} = 14.14V$$

En este caso, el valor medio será de:

$$V_m = \frac{14.14 - 10}{2} + 10 = 12.07V$$

Para el diseño del contenedor se ha decidido usar un transformador de 230-12V ya que el hecho de que el voltaje sea superior a 12V en unas pocas unidades no afecta al correcto funcionamiento del motor. Para que el motor no funcione correctamente, la tensión debe pasar de decenas de voltios, lo que podría provocar que las escobillas no aguanten por el hecho de no haber sido diseñadas para aguantar unos arcos de tensión tan grandes u otros problemas por el estilo.

3.2.3.2.2. Elección de la tensión de rizado y del condensador

Para la elección de la tensión de rizado, se tendrá que tener en cuenta el valor del condensador que se quiere implementar como filtro. El hecho de no tener rizado implicaría el usar un condensador muy alto, el cual debería cargarse con una corriente muy alta y existiría la posibilidad de quemar los diodos del puente si no están preparados para soportarlo (a causa de estos picos de corriente tan grandes).

Para esta aplicación se ha decidido que la tensión de rizado sea de 2V. Con este valor, sabemos que la mínima tensión que tendremos será de 15V (17V-2V) y que la tensión media será de 16V.

El siguiente paso es encontrar el valor del condensador, aunque para ello, antes hay que saber el valor de la carga R_{load} en el peor de los casos. Al saber que el voltaje puede llegar hasta los

17V y que los dos motores no podrán estar conectados a la vez, tomaremos en cuenta el valor de la corriente consumida por el motor primario, que consume 10A (Soria Perez, 2016).

$$R_{load} = \frac{V}{I} \quad [55]$$

Donde:

R_{load} : Resistencia de carga [Ω]

V: Tensión de carga [V]

I: Intensidad de corriente [A]

$$R_{load} = \frac{17V}{10A} = 1.7\Omega$$

Para obtener la capacidad del condensador:

$$V_{cpp} = \frac{V_{ccmax}}{2fRC} \quad [56]$$

Donde:

R_{load} : Resistencia de carga [Ω]

V_{cpp} : Tensión de rizado [V]

$V_{cc\ max}$: Tensión máxima [V]

f: Frecuencia [Hz]

C: Capacidad del condensador [mF]

Aislado C:

$$C = \frac{V_{cpp}}{2fRV_{cpp}} = \frac{15.6}{2 \cdot 50 \cdot 1.7 \cdot 2} = 0.045F = 45mF$$

Con estos cálculos se obtiene el valor del condensador en el peor de los casos asegurando su correcto funcionamiento. Esto es así ya que en el arranque no consumirá toda esta potencia, provocando que la R_{load} sea más grande y la corriente más pequeña, recortando menos y elevando el valor medio (Soria Perez, 2016).

Dado que el valor obtenido es un valor muy elevado, se ha decidido aumentar el valor de la tensión de rizado V_{cpp} a 8, obteniendo así un condensador algo más pequeño.

$$C = \frac{V_{cpp}}{2fRV_{cpp}} = \frac{15.6}{2 \cdot 50 \cdot 1.7 \cdot 8} = 0.0114F = 11.4mF$$

Debido a que el motor absorbe tanta corriente y que el voltaje sea tan reducido hace que se obtenga un condensador tan grande. En términos de costes se debería buscar si existe alguna alternativa a este motor ya que el circuito de alimentación de éste necesita de unas prestaciones muy altas.

Hay que mencionar también que este sería el condensador para el peor de los casos y que debido a la fem del motor, este caso no se dará más que en el inicio del compactado. Es por eso por lo que en el caso de que no se le pusiese un condensador tan grande, el condensador tardaría unos cuantos ciclos en cargarse completamente, pero acabaría haciéndolo y no influiría en el funcionamiento normal del motor.

3.2.4. Detección de líquido en el interior

Debido a que el contenedor compacta envases los cuales, en muchas ocasiones, contienen líquidos que pueden desprenderse. Aunque la electrónica y el motor se sitúan en una posición elevada y alejada de la zona de compactación, siempre podría haber la posibilidad de que llegase líquido o alta humedad a estos componentes. Por eso mismo, es necesario detectar si eso se produce para poder resolver el problema lo antes posible.

Para lograrlo, se ha instalado un sensor de agua del distribuidor *Prometec* exclusivo para el conexas con Arduino. (Prometec, 2018)

El usuario, al ser advertido, podría acceder a la zona donde se encuentra la electrónica para secarla (siempre con el aparato desenchufado de la corriente) evitando así posibles problemas.

3.2.4.1. Conexión del sensor de agua con el microcontrolador

Al ser un módulo para Arduino el conexas es realmente fácil e intuitivo. Se conectará la entrada de alimentación a 5V, las masas de ambos dispositivos y, por último, el pin de señal analógica del sensor a la entrada analógica A4.

- Vcc – 5V
- GND – GND
- PIN señal – Pin A4

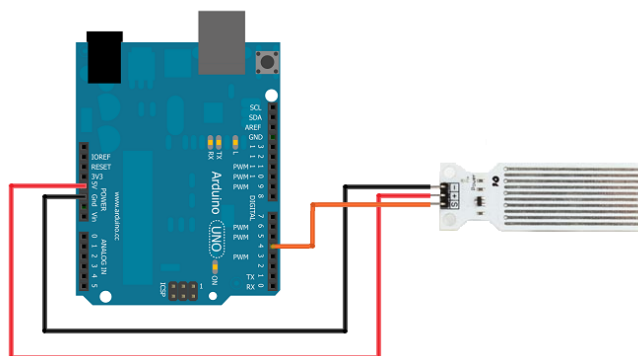


Figura 53. Conexión del detector de agua con Arduino

3.2.5. Detección de mecanismo obstruido

Uno de los principales problemas de que el mecanismo no pueda estar a la vista del usuario es no poder apreciar si el proceso se ha realizado correctamente y el envase ha sido compactado y expulsado al cubo. Por lo tanto, debía detectarse de alguna forma si el envase ha caído al cubo o no. Para ello era necesaria la instalación de un sistema que avisase mediante una alarma al usuario de que el proceso no ha terminado como debía.

Para cumplir con esta función se podrían haber utilizado varias alternativas. Una posibilidad era usar sensores mecánicos en un lateral de la obertura. Los sensores mecánicos son componentes electrónicos que detectan el movimiento o paso de un objeto mediante el contacto de este con las pestañas de detección del sensor. Esta opción se descartó debido a que la gran variedad de tipos de envases provocaba un margen de error demasiado grande, es decir, cabía la posibilidad que según el tamaño y posición del envase no fuese detectado por el sensor. Incluso también podría suceder que un envase muy liviano, aun impactando con las pestañas, no fuese detectado.

Finalmente, después de descartar también los sensores capacitivos por el hecho de que los envases tienen características muy diferentes, se ha decidido usar un sensor de infrarrojos colocado de forma que tenga visión a lo largo la longitud de la obertura de expulsión de los envases. En concreto, se ha decidido usar el sensor *Sharp GP2Y0A21YK0F*, que es capaz de detectar objetos en un rango de 10 a 80 cm. Una versión con mayor capacidad de alcance no tiene sentido ya que las medidas de la zona de expulsión son pequeñas (Sharp, 2018).

Otra cosa que hay que tener en cuenta con este tipo de sensor es que el color de las paredes del contenedor puede contaminar la lectura del sensor, dando lugar a falsas respuestas y marcando una distancia errónea. Aunque también cabe mencionar que el sensor no será usado para medir distancias, sino para detectar que ha pasado un envase, es decir, que la distancia calculada no es la distancia entre los dos laterales del contenedor. Es por este motivo que no será necesario interpretar la entrada analógica y transformarla a distancia, ahorrando así los cálculos de la alineación de la curva de respuesta del sensor.

3.2.5.1. Conexionado del sensor de infrarrojos con el microcontrolador

El sensor dispone de 3 pines, dos de alimentación y un pin analógico por donde se envía la señal. Estos irán conectados de la siguiente forma:

- Vcc – 5V
- GND – GND
- PIN señal – Pin A5

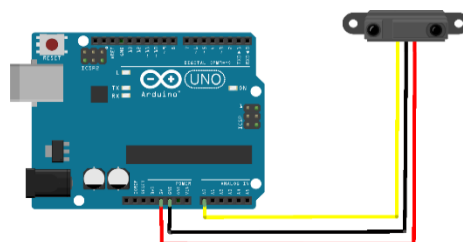


Figura 54. Conexionado entre Arduino y el sensor Sharp.

3.2.6. Detección del nivel del contenedor

Una función adicional que se le ha querido implementar al contenedor es la de que avise al usuario cuando el cubo se encuentre lleno y deba ser vaciado. Debido a que el cubo se encuentra en el interior del aparato, colocar este aviso evita que el usuario deba estar abriendo y cerrando el contenedor para controlar su nivel de llenado. El aviso se realizará con un indicador luminoso situado en la pantalla de control, y se realizará cuando el cubo este a poco de llenarse.

La primera idea fue colocar un sensor de peso, donde el peso de los envases indicaría el nivel de llenado del contenedor, pero no era viable ya que, como hemos mencionado anteriormente, no contendrá el mismo tipo de envases teniendo cada uno de ellos una densidad distinta lo que puede conllevar a error.

Otras alternativas planteadas fueron usar sensores capacitivos en el lateral del contenedor o sensor/es óptico/s, pero fueron descartadas por el hecho de que los envases se depositan en el contenedor de manera aleatoria y podrían concentrarse en una esquina dando falsas muestras indicando erróneamente el nivel de llenado.

La alternativa escogida ha sido instalar un sensor de ultrasonidos, colocado en el centro de la parte superior del contenedor. Este tipo de sensor, al basarse en el eco que recibe y no en un haz de luz, el cual solo detecta un punto en concreto, es capaz de detectar el nivel con más fiabilidad ya que su rango de detección es de varios grados y varios metros. Concretamente se ha decidido usar el módulo HC-SR04, ya que viene preparado para ser conectado con Arduino. (Llamas, 2015)

3.2.6.1. Conexión del sensor de ultrasonidos con el microcontrolador

El módulo HC-SR04 dispone de 4 pines: dos de ellos para la alimentación (Vcc y GND) el pin *Trig*, el encargado de emitir el pulso y el pin *Echo*, el encargado de recibirlo.

Las conexiones con el microcontrolador son las siguientes:

- Trig – PIN A1
- Echo – PIN A0
- Vcc – 5V Arduino
- GND – GND Arduino

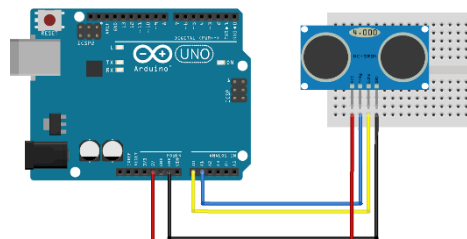


Figura 55. Conexión entre Arduino y el módulo HC-SR04.

3.2.7. Panel de control del contenedor

En la parte exterior se sitúa el panel de control del aparato. El panel es de dimensiones muy reducidas y de uso muy sencillo debido a que solo dispone de tres teclas. Además, dispone de una zona donde se sitúan los indicadores luminosos que en este caso serán luces LED.

En un principio se planteó la opción de simplemente colocar un LED RGB el cual se iluminase de diversos colores según lo que el usuario debía saber que estaba pasando, pero se ha creído necesario expresar las alertas de una forma más clara y diferenciada. Las alertas luminosas se realizarán mediante símbolos luminosos. Para que personas con enfermedades visuales puedan utilizar el aparato debe expresarse la información por más de un canal, por eso mismo los avisos serán acústicos y mediante el símbolo luminoso.

Los estados que se deben mostrar serían los siguientes:

- Proceso en marcha: El contenedor se encuentra realizando el proceso de compactación. El usuario debe saber que no puede abrir la puerta ya que el mecanismo está en funcionamiento.
- Proceso bloqueado: Un envase se ha quedado atascado y debe retirarse manualmente.
- Contenedor lleno: El nivel del contenedor está llegando a su límite.
- Detección de líquido en la zona donde está ubicada la electrónica: gracias a este aviso pueden evitarse daños en la electrónica.

3.2.7.1. Conexión del panel de control con el microcontrolador

Debido a que la placa Arduino utilizada para el ensayo práctico de los sensores, es una placa pequeña para pequeñas instalaciones, solo se conectará un LED a modo de prueba. Realmente la pantalla del panel de control tendrá más iluminaciones LED.

Para esta función se usará un simple led, ya que con este se pueden conseguir emitir casi todos los colores. Para ello, conectaremos los pines del led al Arduino de la siguiente forma y a los siguientes pines:

- PIN R – Pin 9
- PIN G – Pin 10
- PIN B – Pin 11
- PIN Alimentación – 5V

Los pines escogidos son el 9,10 y 11 por el hecho de que son salidas que admiten PWM, necesario para variar la intensidad de cada uno de los 3 leds del RBB y así conseguir todos los colores disponibles.

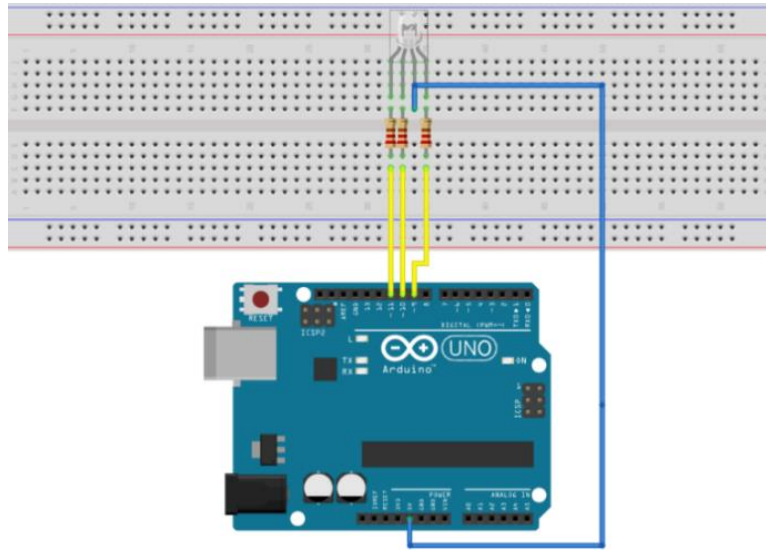


Figura 56. Conexionado entre Arduino y el led RGB.

3.2.8. Detección de compuerta abierta

Como ya se ha comentado, las medidas de seguridad que debe cumplir una máquina son estrictas. Por eso mismo, aunque la compuerta de carga dispone de un sistema de cierre de seguridad, debe implementarse un sistema que detenga el mecanismo en caso de que esta se abra. En ningún caso debe poderse activar el mecanismo con la compuerta abierta, o en caso de que accidentalmente, o a la fuerza, la compuerta se abra con el mecanismo en funcionamiento, este debe detenerse instantáneamente.

La mejor solución para la función que se quiere cubrir sería colocar sensores de bisagra ya que son mucho más seguros por el hecho de que hay menos opciones a que se activen por error. Esto es así por el hecho de que están en una posición muy difícil de manipular y su sistema de funcionamiento tiene un margen de error ínfimo.

Para el ensayo práctico se ha decidido usar sensores de tipo Reed (sensores magnéticos) ya que son mucho más baratos y fáciles de conseguir. (Llamas, 2015)

3.2.8.1. Alternativas estudiadas

Como método de seguridad se pensó en implementar un sistema en el que el motor fuese desconectado de la alimentación si la puerta estaba abierta. En el caso de colocar un interruptor en la salida del motor, se debería cerrar el circuito ya que, en caso contrario, se generarían un arco voltaico que rompería el interruptor. Para cerrar el circuito se debería colocar un diodo, ya que con su resistencia interna permitiría la descarga de la bobina. Además de este diodo, haría falta otro en sentido contrario en el caso de que el motor este girando en sentido contrario. El circuito quedaría de la siguiente manera:

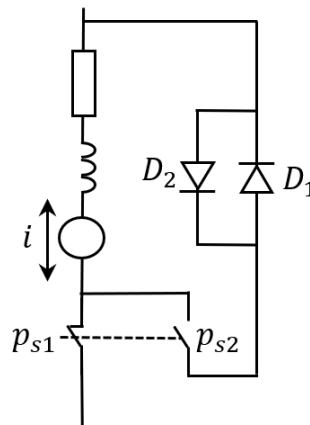


Figura 57. Esquema del sistema de desconexión del motor

El funcionamiento sería el siguiente: En el caso de que la corriente fluya de forma descendente y se abriese la puerta, el interruptor p_{s1} se abriría, cerrando el interruptor p_{s2} evitando el cortocircuito cerrando este con el diodo D_1 . En el caso de que la corriente fluye de forma ascendente y se abriese la puerta, igual que en el caso anterior, se abriría el circuito mediante el interruptor p_{s1} , cerrando el interruptor p_{s2} evitando que el cortocircuito, pero esta vez mediante el diodo D_2 .

El sistema de seguridad por software ya es lo suficientemente seguro por lo que se ha decidido descartar este sistema. Además, su implementación incrementaría el coste del producto debido a los dos diodos, los dos interruptores y el cableado de más que se debería adquirir. Además, el sistema de seguridad por software ya es lo suficientemente seguro y el sistema por hardware tampoco está exento de posibles fallos.

En cuanto a protecciones, al ser un dispositivo doméstico debe cumplir unas normativas. Debe tener un diferencial que proteja a las personas en caso de que algún cable toque algo metálico y un magnetotérmico que proteja si hay algún cortocircuito interno que proteja el circuito externo. Por este motivo el dispositivo se debe conectar a una red que disponga de estos dos elementos.

3.2.8.2. Conexión del sensor magnético con el microcontrolador

La opción seleccionada para el proyecto, como se ha introducido antes, ha sido usar un módulo que integra el sensor Reed y viene preparado para ser conectado con Arduino, pero en el caso de que solo se tuviese el pequeño sensor lo único que haría falta sería conectar uno de los lados a un pin digital (activando la resistencia interna de este) y a GND. (Llamas, 2015)

En este caso, el módulo dispone de tres pines, los dos de alimentación y un pin digital donde indica si el circuito está cerrado o abierto. Las conexiones en este proyecto serán las siguientes:

- IN Vcc – 5V
- IN GND – GND
- D0 – Pin 4

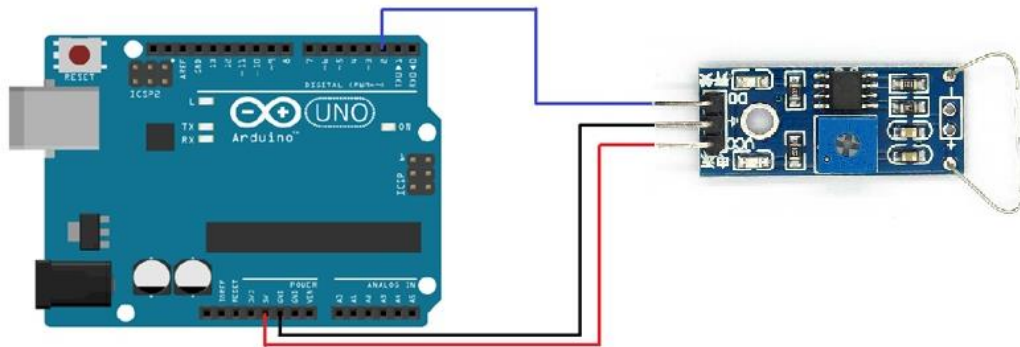


Figura 58. Conexión entre Arduino y el módulo sensor Reed.

3.2.9. Apertura de la compuerta de expulsión

La compuerta de expulsión será accionada por un pequeño motor, que con la ayuda de un relé y finales de carrera conseguirá que ésta se abra y se cierre. Se ha decidido usar este método ya que este motor no sufrirá ninguna resistencia y no hace falta que se controle la posición, sino que se abra y cierre lo más rápido que se pueda.

El control del segundo motor se hará mediante el siguiente circuito eléctrico, el cual hará que el motor gire en sentido horario cuando el relé este en la posición On y en sentido antihorario cuando este en Off. El motor dejará de actuar gracias a los dos finales de carrera, que abrirán el circuito evitando que se siga alimentando el motor. El microcontrolador actuará sobre el relé (R1), de forma que con una simple entrada se podrá hacer avanzar y retroceder la placa que permite la evacuación del envase compactado. Además de la salida digital de control del relé, se necesitarán dos entradas digitales de Arduino para leer el estado de los dos finales de carrera que irán situados en los laterales del recorrido. (Ferrete, 2018)

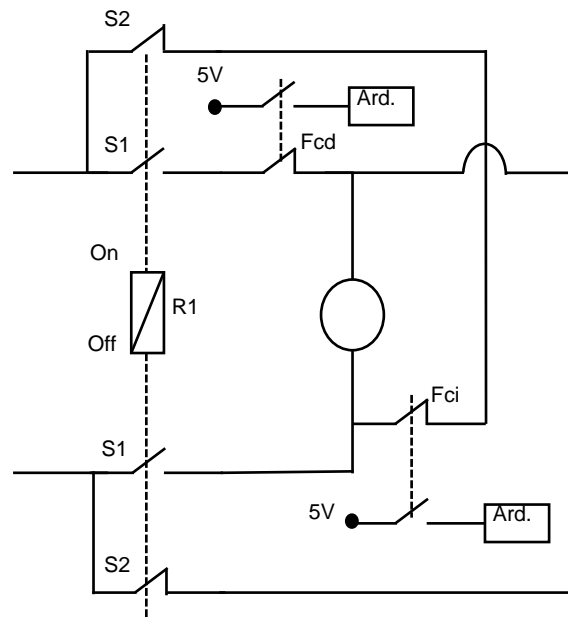


Figura 59. Esquema eléctrico del circuito del motor pequeño

En el caso de que el relé este en modo On, los interruptores o *switch* S1 se cerrarían y los interruptores o *switch* S2 se abrirían (ya que son interruptores nc (normalmente cerrados)). Esto provocaría que el motor girase en sentido horario hasta que el final de carrera Fcd se activase, abriendo el circuito y parando el motor. En este punto se debería leer en la entrada de Arduino paralela a este final de carrera el valor de este, comunicando al microcontrolador si ya ha llegado y puede proceder con la actuación o debe esperarse a que llegue.

Hasta que el Arduino no ponga el relé en Off el circuito permanecerá abierto sin ninguna actuación. En el momento en que el relé se ponga en Off, se abrirán los interruptores S1 y se cerraran los interruptores S2 de forma que el motor girará en sentido antihorario hasta llegar al final de carrera (Fci). (Ferrete, 2018)

Para la actuación sobre el relé se usará un circuito con un transistor de forma que mediante una señal de Arduino cierre o abra el circuito. Además, para permitir la descarga del relé en el momento en que se abra el circuito se añadirá un diodo. Este quedará de la siguiente forma:

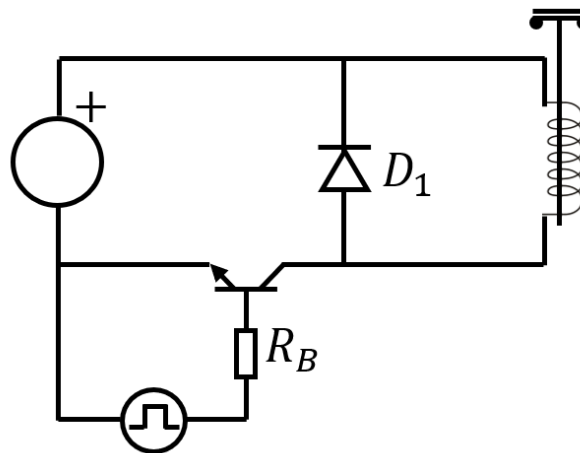


Figura 60. Esquema eléctrico del control del relé

En el momento que Arduino envíe una señal de 5V, gracias a la resistencia a la base del transistor le llegará una señal de 0.2V, que hará que entre en conducción y cierre el circuito. En el momento en que el microcontrolador transmita 0V el transistor dejara de conducir, abriendo el circuito. Es en este momento en el que el diodo cumplirá su función permitiendo la descarga del circuito y evitando romper el solenoide.

3.2.10. Otras aplicaciones estudiadas

A continuación, se exponen dos opciones de funciones que se podrían aplicar pero que han sido descartadas por el hecho de que no aportan un gran valor al producto, aunque en un futuro se podrían implementar para añadirle más funcionalidades al contenedor.

3.2.10.1. Detección de incendio

Se estudió la opción de que el contenedor detectase si en su interior se estaba iniciando un incendio. Esta detección se traduciría en una señal de alerta al usuario.

La detección de incendio se debería hacer mediante un sensor de humo o un sensor de llama infrarrojo. Para el proyecto, se escogería usar solo el sensor de humo, pero para una aplicación con alta peligrosidad, por motivos de seguridad, es recomendable usar los dos tipos de sensores simultáneamente.

El sensor de humo escogido sería el módulo sensor de gases MQ-2 para Arduino. Este es capaz de detectar una gran variedad de gases y mostrar en ppm (partes por millón) el contenido de gas que tiene el aire que analiza. (Torres, 2014)

Finalmente, no se instala este sensor en el contenedor debido a que es muy complicado que se genere un incendio en un contenedor doméstico, y la dificultad de calibrado del sensor no compensa con la funcionalidad aportada.

3.2.10.1.1. Conexión del sensor de humo con el microcontrolador

El módulo MQ-2 dispone de 4 pines de conexiones. Dos de ellos para la alimentación del sensor (Vcc y GND), un pin con señal analógica y otro pin digital, que se activa cuando el sensor detecta una concentración más elevada de la que se ha impuesto como límite. Para el proyecto solo se usará el pin digital ya que, como se ha dicho antes, solo se quiere el sensor para detectar un nivel de humo inusual, y no para medir la ppm de humo que hay en el aire. (Torres, 2014)

El pin analógico no se usará para el proyecto, pero sí que se debe usar para la configuración del límite a partir del cual el pin digital cambia de estado.

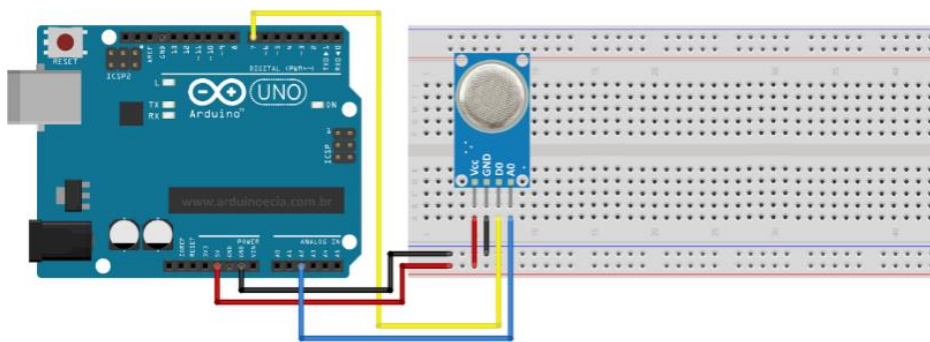


Figura 61. Conexión entre Arduino y módulo MQ-2.

3.2.10.2. Envío de los datos recogidos al servidor

Hoy en día se está implementando cada vez con más fuerza el concepto del internet de las cosas, y es que recoger la mayor cantidad de información de los productos y del mundo en general hace que sea mucho más fácil detectar y prevenir los errores. Además, también se puede sacar provecho al concepto en forma de estadísticas, ya que si se gestiona bien la información recogida puede mostrar mucho más que un simple valor recogido por un sensor. Por esta razón se ha estudiado implementar un sistema que recoja los datos del contenedor y los envíe a un servidor mediante WiFi.

Al ser una “simulación” y no tener grandes conocimientos de informática, se estudió recoger solo las veces que se vacía el cubo de basura que hay en el interior del contenedor y enviar esta información a una base de datos local.

El envío de información se haría a partir del módulo ESP8266, ya que el módulo es mucho más económico que el oficial de Arduino, y contiene toda la electrónica para la comunicación radio frecuencia en la banda WiFi, así como una pila TCP/IP y admite conexión serie. (Llamas, 2017)

El ESP8266 con su firmware de fábrica permite la conexión a Internet desde Arduino conectando ambos módulos mediante el puerto serie y ejecutar comandos AT sobre el ESP8266 y recibiendo la respuesta en Arduino.

Esta opción ha sido descartada por el hecho de que creemos que no le aporta suficiente valor al producto ya que no se le ha encontrado una utilidad bien definida a la recogida de datos, aunque se cree que en un futuro puede ser una aplicación interesante para instalar. Aun así, se han hecho pruebas para ver qué resultados daba la tecnología.

3.2.10.2.1. Conexión del módulo ESP8266 con el microcontrolador

El módulo dispone de 8 pines de conexión, dos para la alimentación, un pin de *reset*, dos pines GPIO, dos pines para la comunicación serial y un pin de habilitación. Las conexiones con Arduino serán de la siguiente forma:

- Vcc – 3.3V
- GND – GND
- CH_PD – 3.3V
- RST - /
- GPIO0 - /
- GPIO2 - /
- TX – Pin 3
- RX – Pin 2

Como se observa, los pines de reset y los dos GPIO no serán conectados. Otro detalle a tener en cuenta es que el módulo se alimenta a 3.3 V y no a 5, como la gran mayoría de módulos. Esto hace también que haya posibilidades de que se cometan fallos de comunicación por el hecho de que Arduino se comunica con 5V y el ESP8266 con 3.3V. Por esta razón lo más recomendable es usar un divisor de tensión en el pin TxD. Para ello hay que usar dos resistencias, una que doble el valor de la otra, bajando así la tensión 1/3, lo que nos da una tensión de 3.3V aprox. (Llamas, 2017)

$$V_{Pin\ TxD} = \frac{R_2}{R_1 + R_2} \cdot V_{In} \quad [57]$$

Donde:

$V_{Pin, TxD}$: Tensión de salida en el pin TxD [V]

R_1 : Resistencia fija 1 [Ω]

R_2 : Resistencia fija 2 [Ω]

V_{In} : Tensión de entrada [V]

$$V_{Pin\ TxD} = \frac{R_2}{R_1 + R_2} \cdot V_{In} = \frac{2k}{1k + 2k} \cdot 5V = \frac{2}{3} \cdot 5 \approx 3.3V$$

El módulo debe ser alimentado a 500mA, (Llamas, 2017) por lo que, en teoría, Arduino no podría alimentar el módulo ya que solo es capaz de suministrar 50 mA. Por esta razón, se debería contar con un módulo para alimentar la protoboard a 3.3V y 500mA como mínimo y de esta forma usar el módulo sin ningún temor a que se apague o a que ni se encienda.

En la figura siguiente se puede observar el esquema:

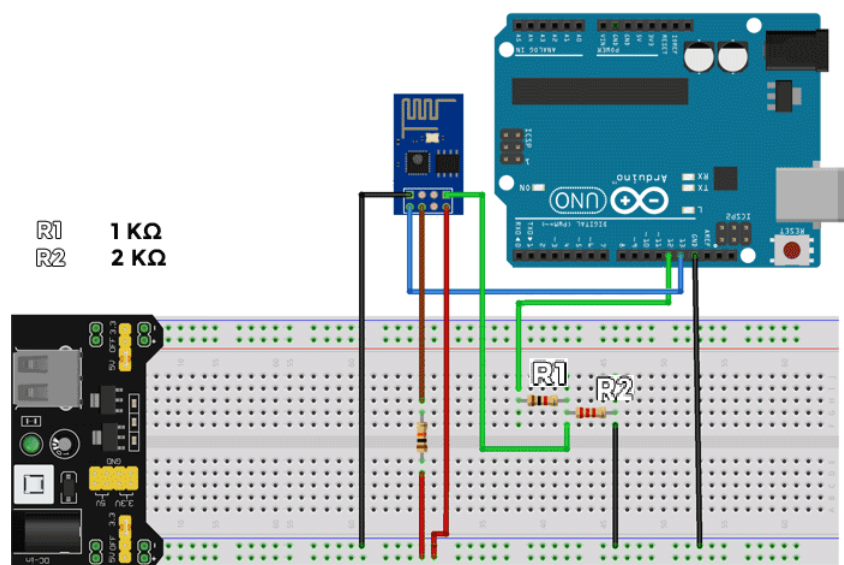


Figura 62. Conexionado entre Arduino y el módulo ESP8266.

3.2.10 Esquema general de conexiones

Una vez se tiene claro como irán conectados los sensores la Arduino se puede hacer el esquema general donde se ve la conexión entre todos los sensores e indicadores con Arduino. Este quedaría de la siguiente forma.

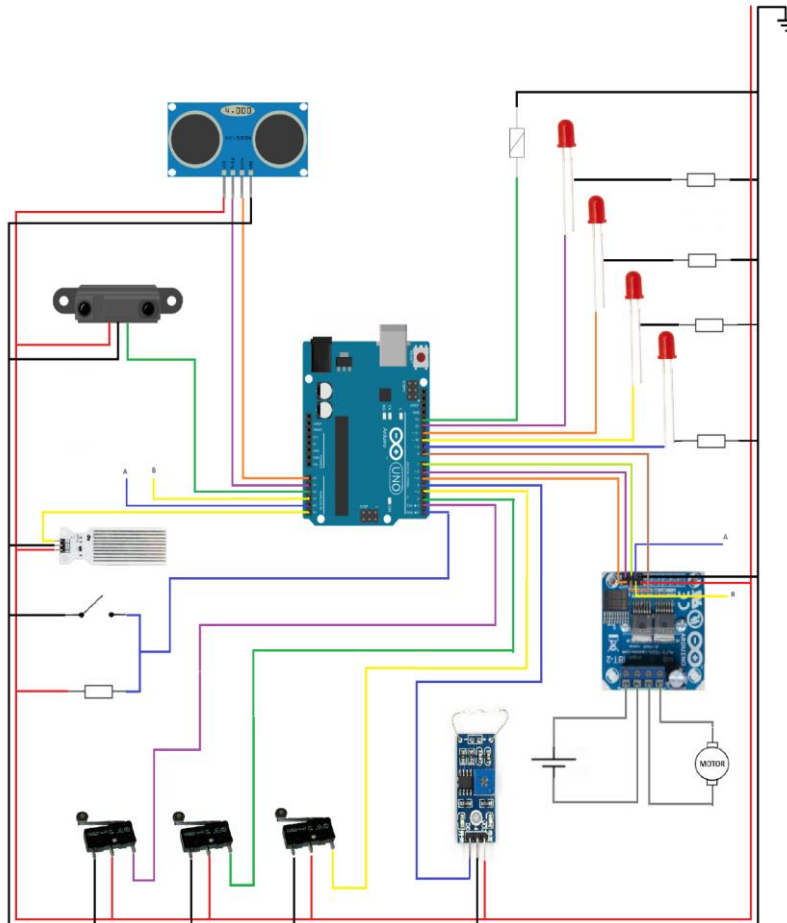


Figura 63. Esquema de conexiones general.

3.3 Configuración y testeo de los sensores y módulos

Para que los sensores hagan sus funciones con precisión y rapidez, deben ser configurados o ajustados antes de poder utilizarse. Por esta razón en este apartado se explicará qué módulos necesitan de una configuración previa y qué se debe hacer para llevar a cabo dicha configuración y/o ajuste.

Antes de conectar todos los sensores y módulos a la vez a Arduino como se especifica en el esquema de conexión general, se ha decidido hacer un testeo de todos los módulos para comprobar su correcto funcionamiento.

3.3.1. Estudio y análisis del sensor de infrarrojos

Como se ha mencionado anteriormente, no se necesitará convertir la señal que se reciba de este sensor ya que no se quiere medir la distancia, sino detectar una variación en ella.

Para poder programar correctamente el funcionamiento de este antes se deben hacer una serie de pruebas para ver cuál es el valor que se obtiene estando este a la distancia que va a estar del otro lado del contenedor. Para ello se ha cogido una caja con la misma distancia de largo que tendrá el contenedor (400mm) y se ha colocado el sensor en la posición donde ira colocado.



Figura 64. Simulación del interior del contenedor con una caja de cartón.

Una vez en su posición, se deberá leer la señal que se recibe del sensor (el código del anexo 4.8, Código para verificación del funcionamiento del sensor Sharp) hace esta función. Si se obtiene la señal obtenida por el serial *plotter* se obtiene lo siguiente:

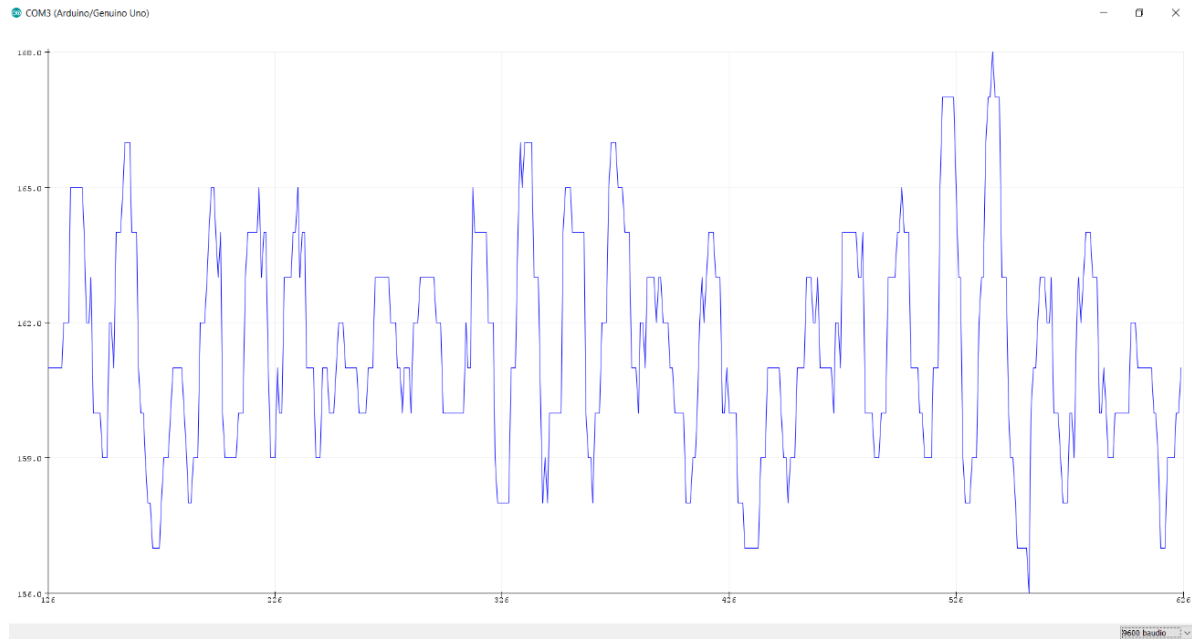


Figura 65. Respuesta del sensor Sharp sin pasar ningún objeto frente a él.

Como se puede observar, la señal es muy irregular por lo que se le debería aplicar algún tipo de filtro, pero dejando esto de lado se puede ver que la señal que se recoge va desde unos 156 a 168, por lo que ésta será el margen que se recibirá si el sensor no detecta ningún objeto.

Si se prueba a pasar algún objeto por la zona de caída de envases a diferentes distancias se obtendrá la siguiente respuesta.

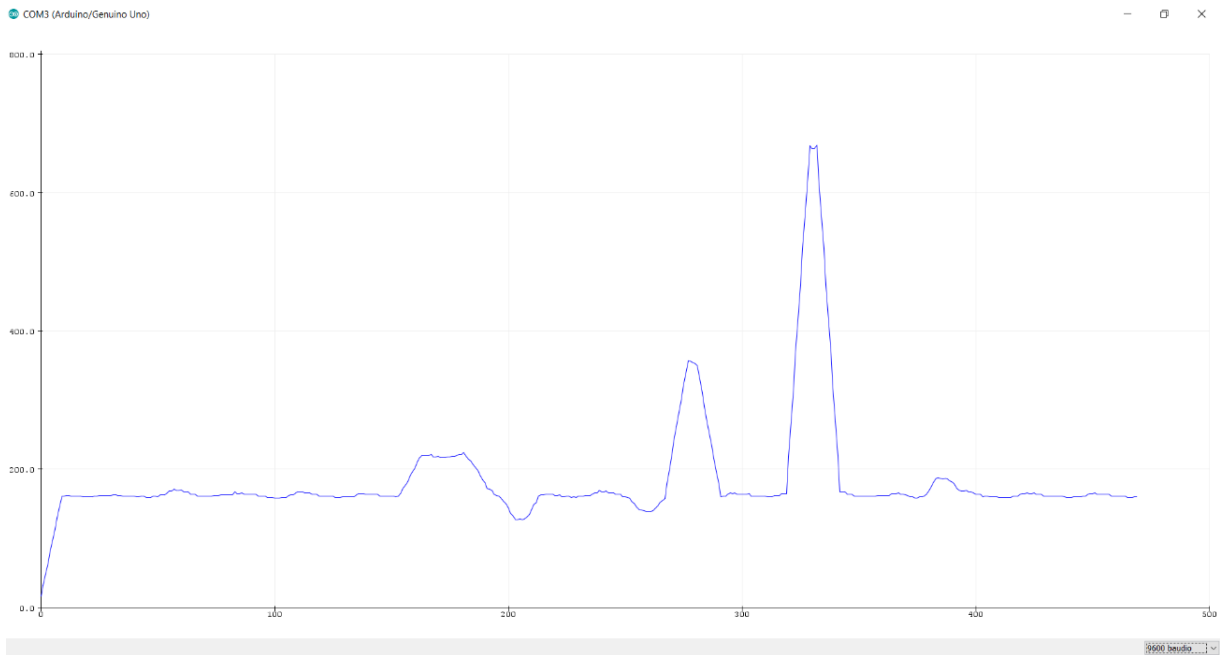


Figura 66. Respuesta del sensor Sharp con objetos a tres distancias distintas.

Esta respuesta corresponde a tres objetos distintos. El primero, que se ha lanzado por la parte más lejana al sensor, corresponde con el primer pico, el segundo, que se ha lanzado por el medio de la abertura corresponde al segundo pico y el tercer, lanzado por delante del sensor es el tercer pico.

A partir de este resultado se puede extraer que el sensor estará detectando algo si su lectura tiene un valor superior a 200, por lo que este será el límite que se busque en el código principal del contenedor para detectar la caída del envase.

3.3.2. Testeo de funcionamiento del botón

Para comprobar el funcionamiento del botón de inicio se ha hecho un simple programa de Arduino que lea la entrada del pin correspondiente (pin 3) con su respectivo botón y resistencia de *pull-up* (Llamas, 2014) tal como se ha mostrado en el apartado anterior (el programa lo pueden encontrar en el anexo 4.4, Código para verificación del funcionamiento del botón).

Se ha comprobado que se daban rebotes en que había casos que se leía que el botón se había pulsado hasta 3 veces de una sola pulsación. Esto no afectaría al funcionamiento del sistema ya que lo que hace la interrupción que activa este botón es poner un *flag* a uno, por lo que si se diese el caso de que hubiese rebotes en la pulsación no afectaría ya que estaría volviendo a poner el *flag* a 1 cuando aún ni se ha reiniciado. El reinicio de este *flag* se da al final del programa, pasados varios segundos del inicio de este.

3.3.3. Testeo de funcionamiento del módulo HC-SR04

El funcionamiento de este módulo se basa en emitir un sonido a baja frecuencia y calcular el tiempo que tarda en recibir el rebote de esta señal. Para ello, lo que se debe hacer con Arduino es enviar un pulso de al menos 10µs por el pin Trigger, pasado este tiempo el sensor envía 8 pulsos a una frecuencia de 40kHz. Antes de esto se debe haber puesto a 0 el pin Trigger para conseguir un disparo limpio. (Llamas, 2015)

Después del disparo se activa el pin echo que se mantiene activo hasta que recibe el rebote del pulso, calculando así el tiempo que ha tardado en volver. Este tiempo será proporcional al doble de la distancia ya que el sonido ha de rebotar en el objeto y volver al módulo.

Teniendo esto en cuenta y que la velocidad del sonido en el aire a una temperatura de 20°C y una humedad relativa del 50% es de 343 m/s, se necesita hacer el siguiente factor de conversión para utilizar la velocidad en la ecuación que se presenta a continuación:

$$Vel. sonido = \frac{343m}{s} \cdot \frac{100cm}{m} \cdot \frac{1}{1000000} \frac{s}{\mu s} = \frac{1}{29.2} \frac{cm}{\mu s}$$

La distancia se determinará con la ecuación básica que relaciona la distancia, tiempo y velocidad, multiplicando por dos ya que la distancia calculada será de ida y vuelta al sensor:

$$2x = t \cdot v \quad [58]$$

Donde:

x: Distancia que recorre la señal [cm]

t: Tiempo que tarda la señal en hacer el recorrido [µs]

v: Velocidad de la señal [cm/µs]

$$x = \frac{t}{29.2 \cdot 2}$$

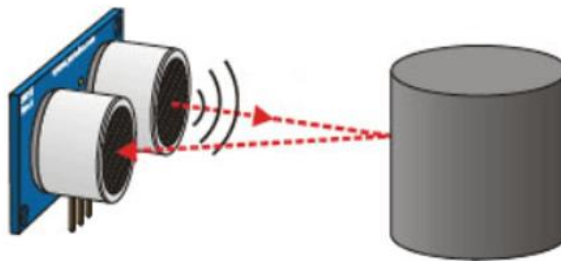


Figura 67. Representación del trayecto del sonido. (Prometec, 2018)

En el contenedor, estos valores de temperatura y humedad variaran, haciendo que la velocidad del sonido en el aire varíe y haciendo que el cálculo no sea del todo preciso. Como esta variación provocara un desajuste de muy pocos centímetros se ha decidido despreciarlo.

En el código para probar el sensor se ha decidido usar un filtro de media móvil para que la respuesta sea más estable, además, se ha decidido que las muestras que indicasen una distancia superior a 1.5 m o a 4 cm no se tuviesen en cuenta ya que esta lectura no se podría dar en el interior del contenedor y así se evitan falsas lecturas o errores en la recepción. Además, se ha probado a encender el led de la placa Arduino (pin 13) cuando esta distancia sea menor a 30cm para probar si fuera capaz de avisar cuando el nivel del contenedor fuese demasiado alto y se tuviese que vaciar. La respuesta que se obtiene al ejecutar el código del anexo 4.5, Código para verificación del funcionamiento del HC-SR04 es la siguiente.

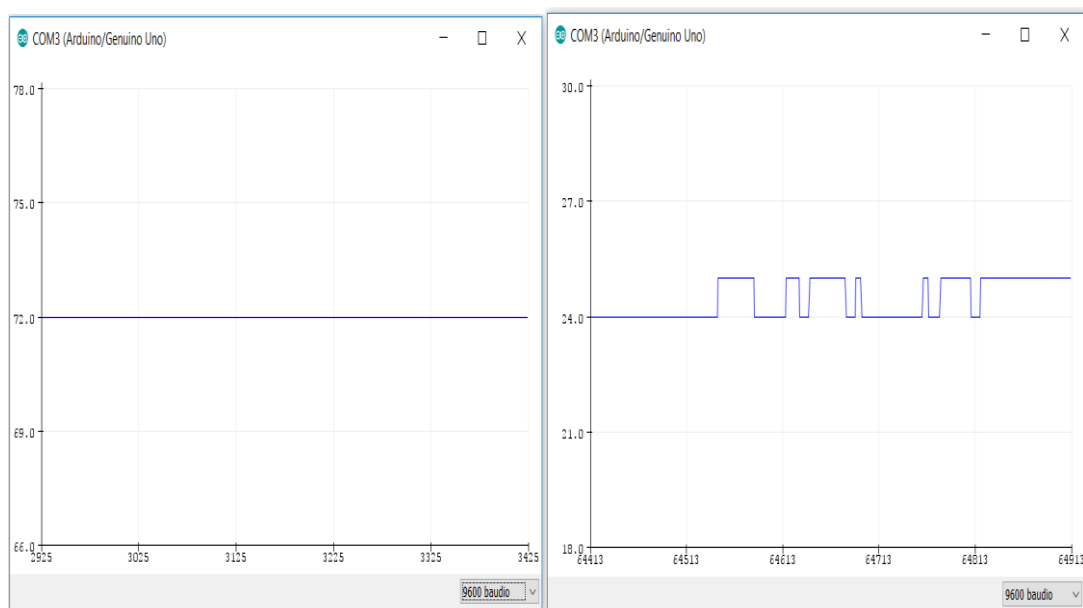


Figura 68. Respuesta del sensor midiendo la distancia desde una mesa al suelo (72 cm) y desde la mesa a un objeto situado a 25 cm.

Como vemos en la respuesta, no es del todo preciso a distancias cercanas, pero al tener un error de menos de 1cm se considerará que los resultados son aceptables y que no afectaran al funcionamiento normal del contenedor.

3.3.4. Testeo de funcionamiento del sensor Reed

El funcionamiento de este sensor se basa simplemente en un interruptor que se cierra al detectar el magnetismo de un imán.

Para la verificación de su funcionamiento se implementará un sencillo código que lea el valor del pin digital al que esté conectado el módulo (tal como se ha hecho para la verificación del botón). Al no usar ninguna resistencia de *pull-up* o *pull-down* para polarizar la salida se usará la propia resistencia del pin de Arduino programada como PULLUP, recibiendo así un 1 con el circuito cerrado y un valor de *low* o 0 con el circuito abierto. (Llamas, 2015)

A partir del código del anexo 4.7, Código para verificación del funcionamiento del módulo Reed, que ejecuta el programa descrito en el anterior párrafo se ha verificado su funcionamiento acercando un imán al sensor y leyendo los valores esperados por el puerto serie.

3.3.5. Testeo de funcionamiento del sensor de líquido

Para la verificación del sensor de líquido se conectó el módulo de la forma explicada en el apartado anterior. Para la lectura, se usó el código del anexo 4.9, a partir del cual se consigue leer el valor analógico transmitido por el sensor de líquido. Para hacer la prueba se han usado diferentes líquidos como agua, zumo o refrescos. Con todos ellos se obtuvo un resultado positivo pudiendo leer a partir del sensor la presencia de líquido. Los resultados que se obtienen al hacer la prueba son los siguientes:

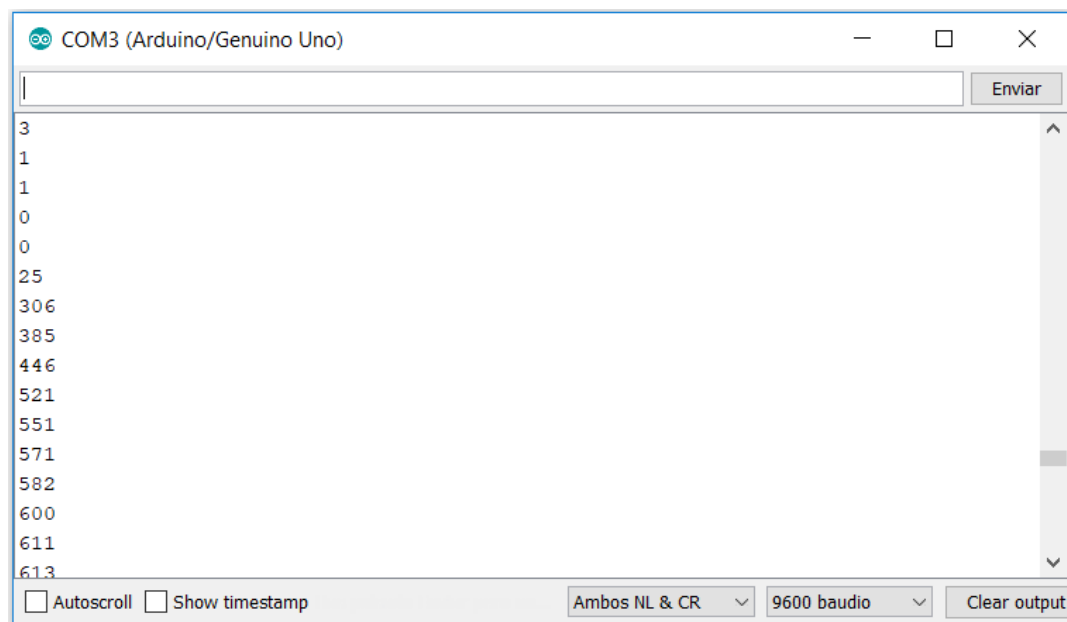


Figura 69. Respuesta del sensor al entrar en contacto con una gota de un líquido.

3.3.6. Testeo de funcionamiento del módulo IBT-2

Para comprobar el correcto funcionamiento del módulo IBT-2 se ha decidido hacer una prueba haciendo que el motor incrementase al 100% de su velocidad en sentido horario, se mantuviese en este 10s, decrementase la velocidad hasta llegar a 0 y luego hiciese lo mismo en sentido antihorario, a modo de prueba.

Para implementar el funcionamiento descrito anteriormente, se ha usado el código del anexo 4.6, Código para la verificación del funcionamiento del módulo IBT-2. Una cosa que tal vez no se ha explicado antes cuando se ha presentado el conexionado, es que los pines RPWM y LPWM deben ir a pines que dispongan de salida PWM para así poder regular las consignas que se envían al módulo IBT-2.

Para comprobar que el código de control hacía lo mencionado en el primer párrafo de este apartado, aparte de mostrar por el puerto serie como va incrementando el valor de la consigna que se le envía al driver IBT-2 y compárala con el aumento de la velocidad, también se ha decidido visualizar esta consigna con un osciloscopio colocando este en paralelo al motor. Con esta prueba se ha visualizado como Arduino aumentaba y decrementaba la amplitud de las ondas conforme aumentaba o disminuía la velocidad, tal como debe responder una salida PWM.

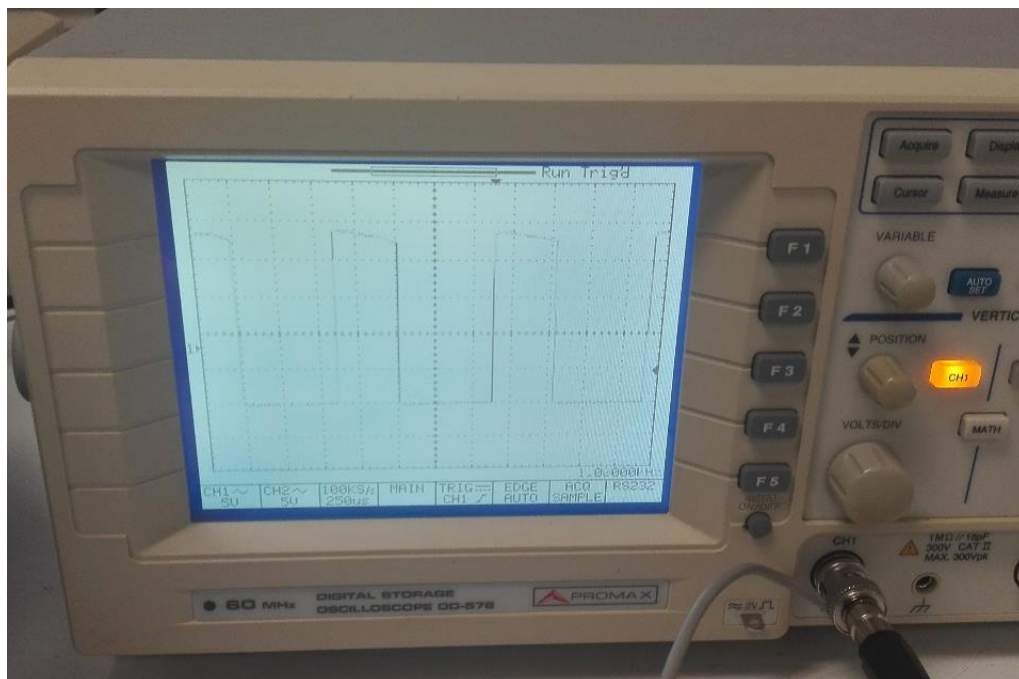


Figura 70. Lectura del osciloscopio de la señal PWM.

Una vez hecha esta prueba, se realizó el ensayo de la lectura de la intensidad. Con esta prueba se encontró la relación que hacía el módulo para transmitir la información de la intensidad que estaba leyendo. Para empezar, se conectó el módulo a una carga regulable y se leyó la respuesta mientras se aumentaba o disminuía la carga. Para encontrar la relación, se conectó en serie un multímetro y se hizo una tabla con los resultados que se leían de módulo y la intensidad real que transcurría por la carga. La table encontrada fue la siguiente:

I(A)	Lectura
1,141	7
1,177	8
1,206	11
1,296	26
1,336	28
1,434	38
1,521	54
1,597	55
1,64	74
1,782	76
1,818	82
1,796	95
1,886	96
1,952	102
1,954	104
2,05	109
2,07	110
2,17	121
2,6	174
2,66	188
2,86	221
2,97	213
3,17	248
3,7	313
4,06	337
4,4	382
4,74	428
5,16	458
5,48	493
5,58	501
6,05	556
6,47	624
6,77	640
7,33	699
8,27	831
9,07	894
9,27	939
9,8	972
10,14	1015
10,16	1017

Tabla 14. Valores leídos por Arduino comparados a los valores de intensidad real

En esta tabla se observa que, si no se desea que el motor supere un consumo mayor de 10A, cuando el pin con la lectura de la intensidad llega a 972 el motor debería detenerse.

Para hacer las pruebas, al haberse hecho con un motor de 5A lo que se probó fue que el motor parase al llegar a un valor de 3A. Al probar el código del anexo 4.6, se comprobó que al ejercer una resistencia al giro del motor (aumentando la intensidad) el motor se paraba cuando llegaba al consumo indicado.

Para el proyecto se estudió la posibilidad de implementar un control proporcional integral (PI), pero por las características que tenía el sistema se ha creído suficiente el limitador de corriente probado en este apartado. Con las características del sistema, a lo que se refiere, es que el motor debe ir al 100% hasta que ya no pueda compactar más y el valor de la intensidad llegue a 10A, y el sistema propuesto ya cumple con esta finalidad.

3.3.7. Testeo y configuración de las alternativas estudiadas

3.3.7.1. Configuración del MQ-2

Como se ha mencionado en el apartado 3.2.10.1, este módulo solo será usado con su pin digital, el cual se pone a 0 cuando detecta algún tipo de gas a los que es sensible. Una característica de este módulo es que se puede ajustar la sensibilidad del pin digital, es decir, que es posible ajustar si se quiere que el pin cambie de estado a más o menos ppm de gas en el aire.

Para este ajuste de sensibilidad se conectaría el pin analógico y digital como se ha visto en la figura 61 de ese mismo apartado. Lo que se hará es medir la ppm de humo en el aire y se ajustaría la sensibilidad con el potenciómetro del módulo. Para la medición de la ppm se usará el código del anexo 4.2. (Código para ajuste del MQ-2), extraído de la página web *Sandbox electronics* y al cual le hemos hecho una modificación para que nos muestre el valor del pin digital. (Kim, 2014)

El Código lo que hace es calcular la ppm convirtiendo el valor analógico que recibe del módulo. Para ello, alinea el valor de sensibilidad de los diferentes gases y, gracias a este cálculo, encuentra la ppm.

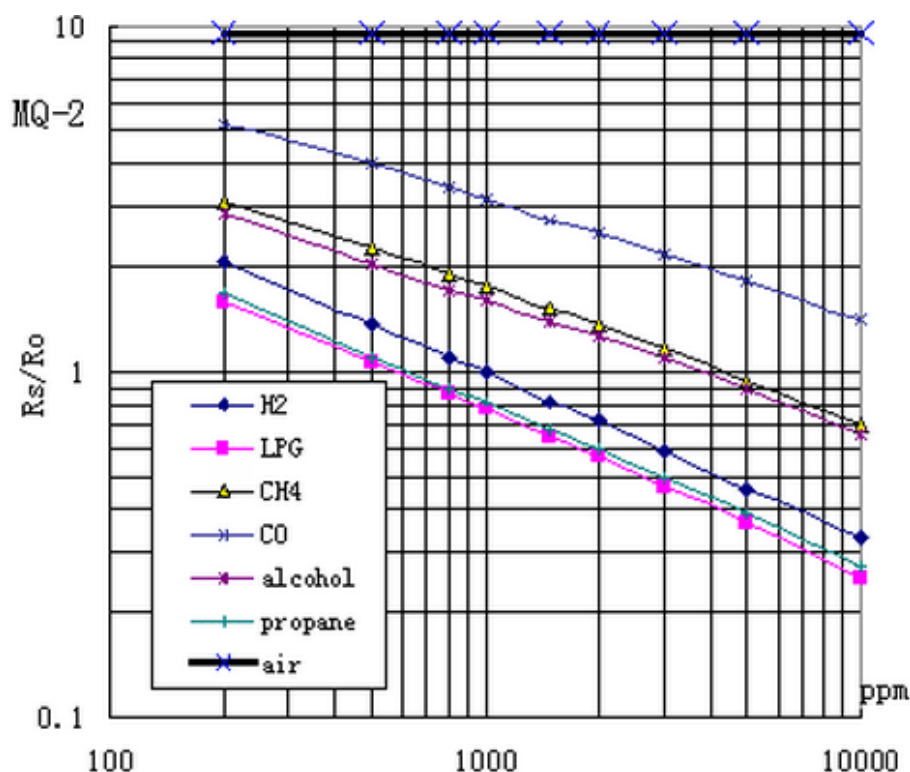


Figura 71. Sensibilidad del sensor MQ-2 frente a varios gases. (Jiankai, 2015)

Si se ejecuta el programa se obtendrá la lectura tal como se muestra en la figura 72 y a partir de la cual se podrá ajustar el potenciómetro hasta que la sensibilidad sea la apropiada.

Nota. No se ha podido comprobar que la lectura de ppm sea correcta ya que no se ha dispuesto de un sensor calibrado para hacer la verificación.

LPG: 0ppm	CO: 0ppm	SMOKE: 0ppm	ALARMA: 1
LPG: 0ppm	CO: 0ppm	SMOKE: 0ppm	ALARMA: 1
LPG: 0ppm	CO: 0ppm	SMOKE: 0ppm	ALARMA: 1
LPG: 0ppm	CO: 0ppm	SMOKE: 1ppm	ALARMA: 1
LPG: 0ppm	CO: 1ppm	SMOKE: 2ppm	ALARMA: 1
LPG: 12ppm	CO: 155ppm	SMOKE: 39ppm	ALARMA: 1
LPG: 7ppm	CO: 45ppm	SMOKE: 41ppm	ALARMA: 1
LPG: 10ppm	CO: 250ppm	SMOKE: 91ppm	ALARMA: 0
LPG: 36ppm	CO: 1041ppm	SMOKE: 302ppm	ALARMA: 0
LPG: 49ppm	CO: 614ppm	SMOKE: 324ppm	ALARMA: 0
LPG: 63ppm	CO: 2397ppm	SMOKE: 541ppm	ALARMA: 0
LPG: 84ppm	CO: 1166ppm	SMOKE: 186ppm	ALARMA: 0
LPG: 21ppm	CO: 193ppm	SMOKE: 54ppm	ALARMA: 1
LPG: 7ppm	CO: 47ppm	SMOKE: 18ppm	ALARMA: 1
LPG: 3ppm	CO: 16ppm	SMOKE: 8ppm	ALARMA: 1
LPG: 1ppm	CO: 7ppm	SMOKE: 5ppm	ALARMA: 1
LPG: 1ppm	CO: 4ppm	SMOKE: 3ppm	ALARMA: 1
LPG: 0ppm	CO: 3ppm	SMOKE: 2ppm	ALARMA: 1
LPG: 0ppm	CO: 2ppm	SMOKE: 2ppm	ALARMA: 1
LPG: 0ppm	CO: 1ppm	SMOKE: 1ppm	ALARMA: 1

Figura 72. Lectura del ensayo.

Como es posible ver en la figura anterior, a partir del puerto serie obtenemos los valores de los gases que está detectando, además de si el pin digital (ALARMA) está activo o no. En la figura anterior se puede ver la respuesta del sensor a humo de un cigarro en un ambiente cerrado. Con esta prueba no se intenta obtener ningún valor exacto para la posterior configuración, ya que solo se busca un valor aproximado de la respuesta del sensor frente a humo. En el caso de que se quiera hacer una configuración más precisa se debe hacer las pruebas en un ambiente cerrado y mucho más reducido, sabiendo la ppm que se introducen en el ambiente de cada gas y siempre con un sensor calibrado para validar la prueba.

Para este proyecto se ha decidido que el límite este sobre las 90-100 ppm de humo, así que se ha ajustado el potenciómetro hasta conseguirlo, observando que el cambio de estado del pin sea como en la 34.

3.3.7.2. Configuración del módulo ESP8266

Este módulo debería conectarse con la red wifi del hogar y enviar a través de ésta la información pertinente a la base de datos. Para la comunicación entre el Arduino y el ESP8266 se usarán comandos AT, con los cuales se configurará el módulo.

Para la configuración solo se necesitará introducir en Arduino un código que permita visualizar las respuestas del módulo ESP8266 y los comandos que se están enviando por lo que se usará el código del anexo 4.3. (Código para ajuste del ESP8266).

Para empezar, se pide atención al módulo mediante el comando AT.

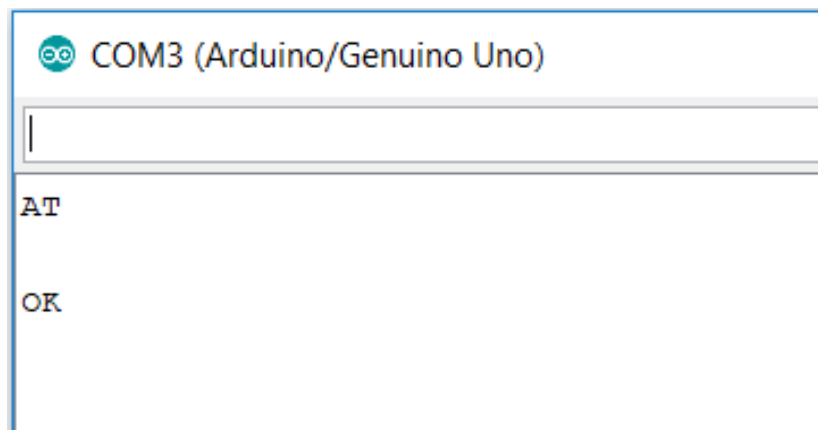


Figura 73. Respuesta que se debe obtener al enviar el comando AT.

Si este responde con un OK la comunicación ha tenido éxito, por lo que se puede continuar con la configuración. En caso contrario, probablemente el problema esté en la velocidad de comunicación, la cual se deberá cambiar con el comando pertinente.

Se continuará configurando el módulo en modo cliente ya que será el módulo quien se conecte a la base de datos. Esto se hará mediante el comando AT+CWMODE=1.

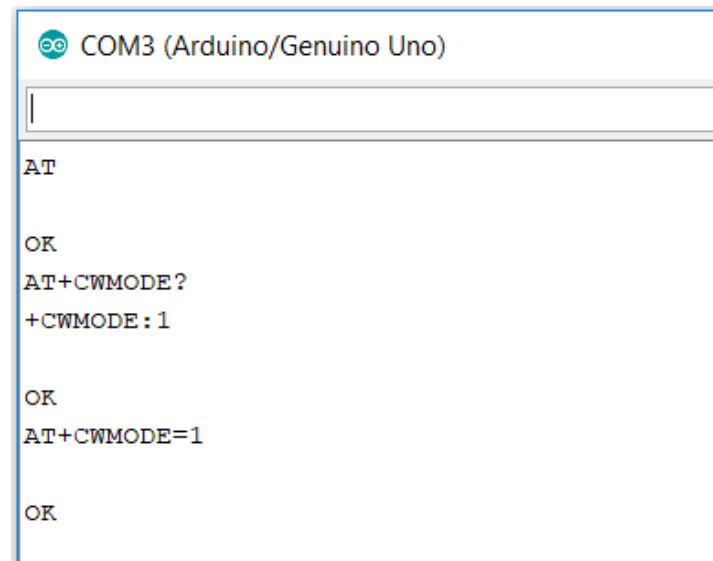


Figura 74. Respuesta que se debe obtener al enviar el comando AT+CWMODE.

Seguidamente el usuario se conecta a la red wifi del hogar con los comandos AT+CWJAP ="SSID"," contraseña". En la siguiente figura se muestra la respuesta si se le pregunta al módulo a qué wifi está conectado ya que éste ya estaba conectado con la red WiFi.

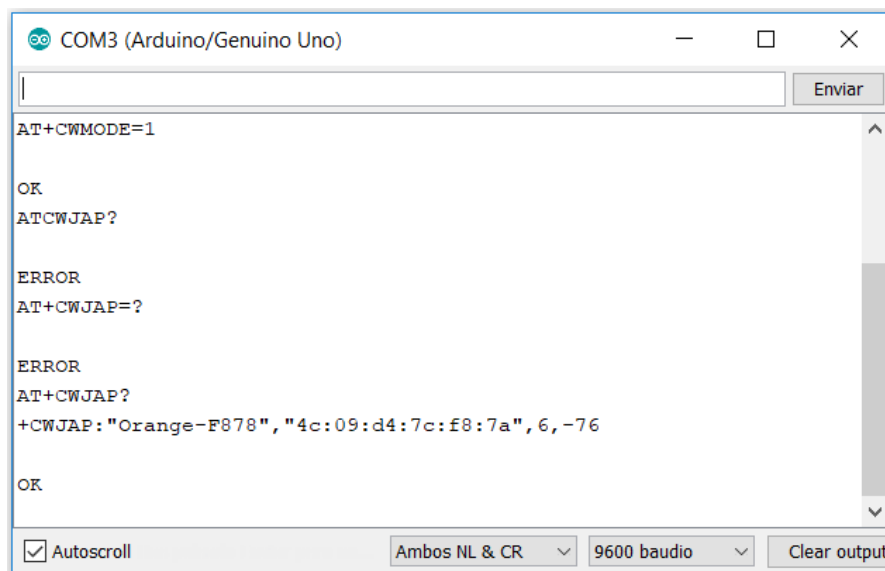


Figura 75. Respuesta que se debe obtener al enviar el comando AT+CWJAP.

El siguiente paso es deshabilitar las conexiones múltiples, ya que solo se conectará a un dispositivo. El comando que utilizar será AT+CIPMUX=0.

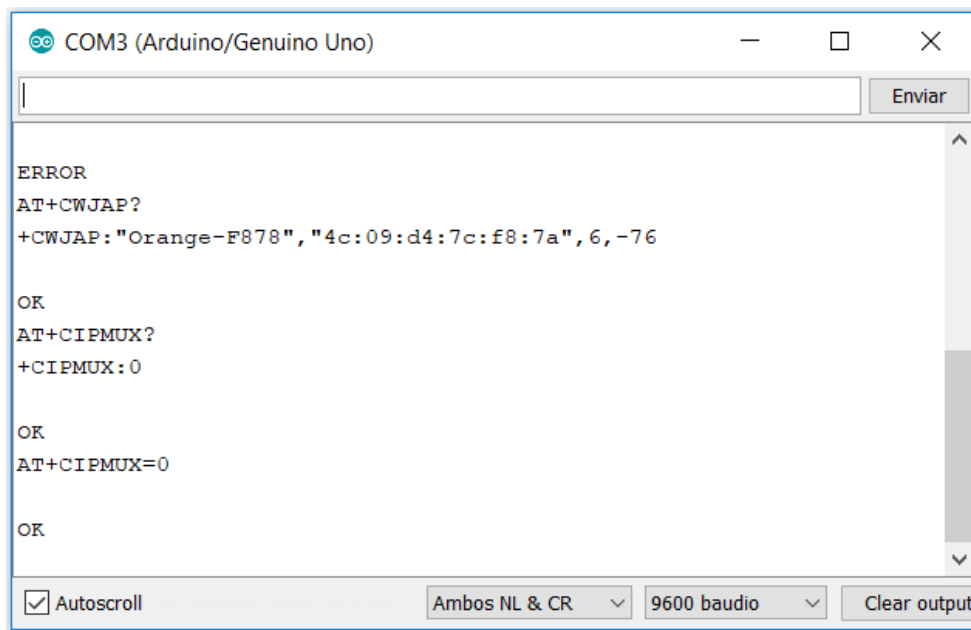


Figura 76. Respuesta que se debe obtener al enviar el comando AT+CIPMUX.

En este punto, el módulo ya estaría preparado para enviar información a una base de datos situada en la nube.

3.3.7.3. Base de datos

Como no se dispone de ningún dominio en internet donde poder almacenar los datos, se ha decidido hacer el servidor en un ordenador de forma local. Para ello, se ha tenido que descargar el programa *Wampserver*, un entorno de desarrollo web con el cual se creará la base de datos con la ayuda de apache como servidor web, PHP como lenguaje de programación y MySQL como gestor de base de datos. (Bourdon, 2018)

Una vez instalado el programa, ya se podrá acceder a través de internet a la página local host, donde se podrá ver todos los archivos creados y guardados en este programa.

Se procederá creando la tabla donde se almacenarán los datos recibidos del contenedor. Para ello se accede a *phpmyadmin* a partir del buscador, donde podremos acceder a nuestras bases de datos con nuestro usuario (si no se tiene usuario se deberá crear uno usando el usuario root). Una vez dentro, se creará una base de datos de nombre sensores.



Figura 77. Creación de la base de datos.

Una vez creada, se añadirá una tabla donde irán los valores recogidos del contenedor. Ésta la llamaremos valores y deberá tener 3 columnas.

Estas tres columnas serán:

- ID: En esta columna se almacenará el identificador de registro (el primer valor que se envíe será el uno, el siguiente el dos, etc.)
- Valor: En esta columna se almacenará el valor de la lectura del sensor.
- Tiempo: Almacenara la hora en que se ha recibido la muestra.

Realmente la columna valor no es de gran interés para el proyecto ya que solo se quiere saber cuántas veces y a qué hora se vacía el contenedor, por lo que el valor que se va a recibir será siempre un 1 (este puede ser cualquier otro valor).

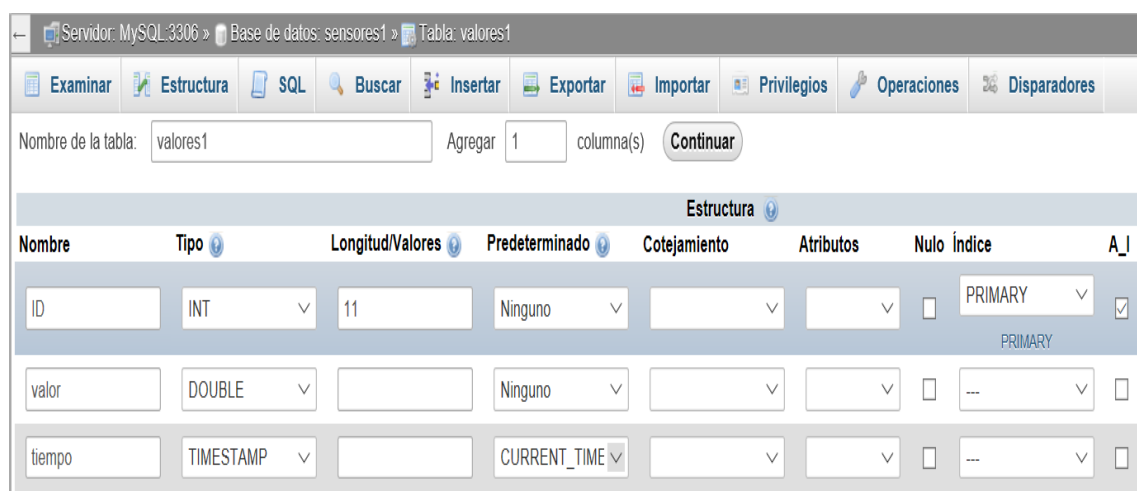


Figura 78. Configuración de las columnas que tendrá la tabla.

Una vez creada la base de datos, se procede a crear el servidor. Para ello se crea una carpeta dentro del servidor que se llamará *tutoiot* (deberá estar en el directorio *www*), y dentro de esta carpeta se crearán 2 archivos a los que se les denominará como *config.php* y *iot.php*. El primer archivo contiene el código que establecerá la conexión con la base de datos. El segundo archivo se encargará de subir los datos recibidos a la base de datos que se han creado anteriormente (llamada sensores). Estos serán transferidos por el método GET, menos seguros que el método POST, pero para la aplicación que se va a hacer ya es suficiente.

Una vez estén los archivos (los dos códigos se pueden encontrar en los anexos 3.9 y 3.10 (Código del archivo *config.php* y *iot.php*)) en el directorio ya se podrán introducir datos en la tabla solo con introducir en el buscador la url <http://localhost/tutoiot/iot.php?valor=X> se podrá ver que se ha introducido el valor en la tabla de la base de datos.

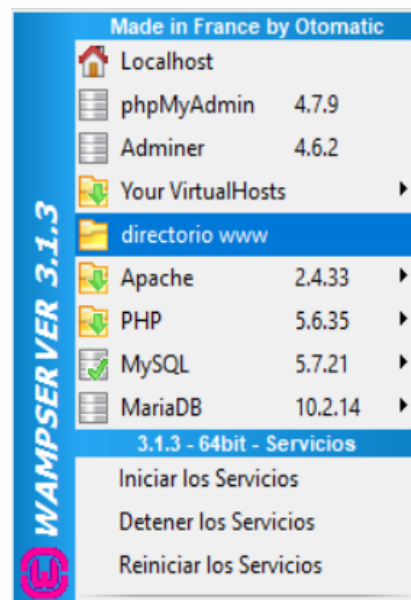


Figura 79. Directorio donde deben estar ubicados los archivos.

+ Opciones						
				ID	valor	tiempo
<input type="checkbox"/>	Editar	Copiar	Borrar	1	22.55	2018-06-09 12:13:44
<input type="checkbox"/>	Editar	Copiar	Borrar	2	4	2018-06-09 12:14:57
<input type="checkbox"/>	Editar	Copiar	Borrar	3	40	2018-06-09 12:15:27
<input type="checkbox"/>	Editar	Copiar	Borrar	4	40	2018-06-09 16:03:05
<input type="checkbox"/>	Editar	Copiar	Borrar	5	90	2018-06-09 16:03:10

Figura 80. Valores recibidos de la base de datos.

Una vez llegado a este punto, ya se tiene la base de datos operativa para ser usada por el Arduino, por lo que ya solo queda que este le envíe la información.

En las pruebas realizadas en las que Arduino debía enviar el dato a la base de datos no se ha conseguido que funcionase correctamente ya que la base de datos devolvía un error en el que especificaba que no se tenían los permisos suficientes para acceder a los archivos .php. Al tener pocos conocimientos de informática este problema no se ha sabido solucionar, pero se cree que habría que configurar los parámetros de seguridad de la base de datos de alguna manera para que se diesen los permisos.

```
<!DOCTYPE HTML PUBLIC "-//IETF//DTD HTML 2.0//EN">
<html><head>
<title>403 Forbidden</title>
</head><body>
<h1>Forbidden</h1>
<p>You don't have permission to access /tutoiot/iot.php
on this server.<br />
</p>
<hr>
```

Figura 81. Mensaje que devuelve después de enviar la petición *http*.

A pesar de este impedimento, se considera que el código es correcto y que envía correctamente la petición, siendo el problema de la base de datos.

3.3.8. Testeo del funcionamiento general

Para el testeo general del funcionamiento de los sensores lo que se ha hecho ha sido conectarlos todos en los pines correspondientes tal como están el esquema de conexiones generales. Para simular los finales de carrera lo que se ha hecho ha sido usar botones.

Una vez conexionado todo, se ha cargado el programa del anexo 4.1 y se ha simulado el funcionamiento del contenedor. Después de encontrar pequeños detalles y depurando el programa se ha conseguido que este haga lo que se explicara en el apartado siguiente.

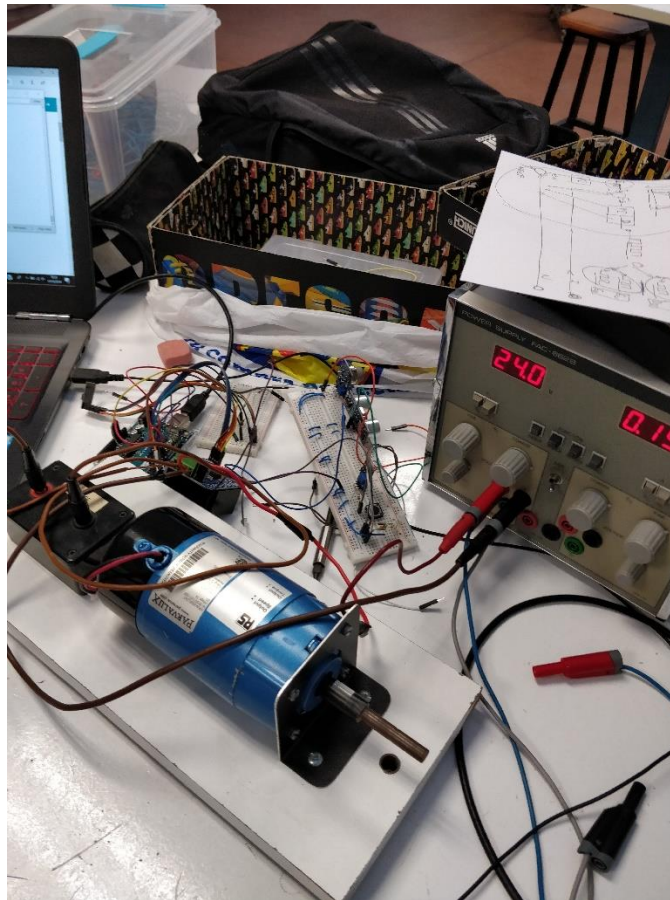


Figura 82. Fotografía del testeo de todos los sensores conjuntamente.

Como se puede observar, se partirá de un estado en reposo donde se comprobará si se le ha dado o no al botón de compactado. Hay que aclarar que el botón no activa directamente la salida, si no que el botón de inicio activa una interrupción, la cual pone a 1 la variable Botón inicio que activara el compactado. Esto se ha hecho así por el hecho de que cabría la posibilidad de que el contenedor estuviese en ejecutando otra parte del código y no detectase que se ha pulsado el botón.

En el caso de que se haya apretado el botón, se encenderá el indicador de “compactando”, indicando que el contenedor está en proceso de compactado. Además, se pondría la variable “ESTADO” a “compactando”, indicando que se puede proceder a la compactación.

En el estado “compactando” se ira aumentado el valor de la señal de control de velocidad al motor hasta llegar al 100% de su capacidad. En todo momento se tendrá en cuenta el valor de la intensidad que está absorbiendo el motor, y en el caso de que llegue al límite de 10A se cambiará el estado a “frenando1”, donde se decrementara la velocidad del motor y se pasará al estado “abriendom2”.

En el estado “abriendom2” se pondrá el relé en ON abriendo la compuerta de expulsión del envase y se comprobará en todo momento si el envase ha caído hasta que el final de carrera del motor 2 se active, cuando se cambiará el estado a “retirando”.

En el estado “retirando” se hará girar el motor en sentido antihorario hasta llegar a la velocidad máxima. Se comprobará si ha llegado al final de carrera, indicando que ha llegado a la posición inicial. En este momento el estado cambiará a “frenando2”, donde se decrementará la velocidad del motor hasta llegar a cero, cuando cambiará el estado a “cerrandom2”.

En el estado “cerrandom2” se pondrá el relé a off cerrando la compuerta de expulsión del envase comprobando si el envase ha caído hasta que el principio de carrera del motor 2 se active, cuando se cambiará el estado a “comprobando”.

El programa seguiría con un aumento en uno del valor de “compactaciones”, valor en el cual se guarda las veces que ha compactado para el caso de que se quedase un envase atascado saber si volver a compactar o encender el indicador marcado que hay un envase atascado.

Se continúa comprobando si ha caído el envase o no, dato que se obtiene de en el momento de la compactación. En el caso de ser negativa la respuesta, se comprueba las compactaciones que ha hecho con el mismo envase (cuál es el valor de “compactaciones”). En el caso de ser la primera vez que se queda atascado se vuelve a iniciar un segundo compactado, pero si es la segunda vez, se encenderá el led de color amarillo indicando al usuario que hay un envase atascado y se reiniciará el contador de compactaciones.

En el caso de que sí que caiga el envase, se acabara el compactado y se reiniciarán los valores para el siguiente compactado y se pondrá a uno el valor de “CalcDist”, donde calcularemos el valor de la altura de los envases en el contenedor.

Una vez acabado el ciclo de compactado o este no se dé, pero pasen 5 minutos (interrupción por tiempo que pone el *flag* "CalcDist" a 1) se podrá acceder al cálculo del nivel del contenedor. En este se hará una media de 20 muestras del sensor y se comprobará si se cumplen alguna de las siguientes dos opciones. La primera es si la media que se ha obtenido en el actual muestreo es mayor que la media del muestreo anterior y siendo este más grande que 70 (distancia un poco inferior a la distancia entre el sensor y el suelo del contenedor) se enviarán a la base de datos el valor 1, indicando que se ha vaciado el contenedor. El sistema de envío de datos se explicará en un diagrama de flujo más adelante. La segunda opción es calcular si el nivel del contenedor es muy alto y debe ser vaciado, y esto se hará comprobando que la media leída por el sensor no sea inferior a la distancia impuesta como mínima (30cm). En el caso de que el nivel sea inferior a esta cifra se encenderá el indicador de color azul indicando que el contenedor debe ser vaciado.

Después de comprobar y ejecutar si es necesario la compactación y el cálculo del nivel, se comprueba que no se esté detectando humo en el interior del contenedor. Para ello se comprueba que la variable "senshumo" no esté activa (este se activa mediante una interrupción que pone el *flag* a 0 (0 – activo / 1 - desactivado)). En el caso de que sí que lo este se encendería el indicador luminoso de color rojo y se esperaría a que el nivel de humo bajase para continuar con el programa.

A continuación, se mostrará el funcionamiento de los pasos que no se han mostrado en este apartado.

3.4.2. Compactación y comprobación de envase caído

Dentro de esta función, se verá cómo se hace la compactación controlando el motor, el sensor de ultrasonidos para detectar la caída del envase y si se ha abierto la puerta del contenedor.

Para empezar, se incrementará la velocidad del motor progresivamente hasta alcanzar la velocidad máxima (en sentido horario) comprobando que no se haya abierto la puerta por motivos de seguridad, y, en el caso de que se diese esta posibilidad, el programa pare de ejecutarse y espere a que la puerta sea cerrada.

Se proseguiría manteniendo la velocidad hasta llegar al sensor final de carrera, una vez ahí se ira decrementando la velocidad del motor hasta llegar a 0. Una vez aquí, se incrementará la velocidad de giro del motor, pero esta vez en sentido antihorario hasta llegar a la velocidad máxima, dos seguirá hasta llegar al principio de carrera. En esta situación comenzara a decrementar la velocidad de giro hasta llegar a parares, comprobando siempre que la puerta está cerrada.

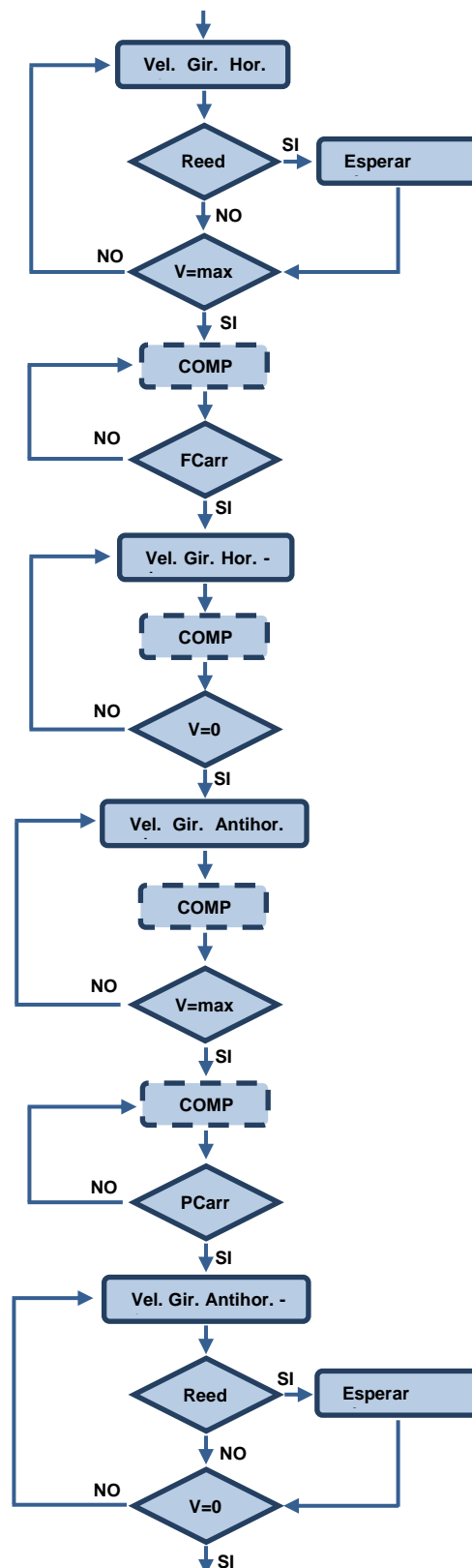


Figura 84. Diagrama de flujo de la compactación y detección envase caído.

Como se ve en el diagrama, siempre se ejecuta la función “Comprobar” (COMP), la cual comprueba si ha caído el envase y que la puerta se mantenga cerrada.

En el siguiente diagrama de flujo se expone el funcionamiento de la función “comprobar”.

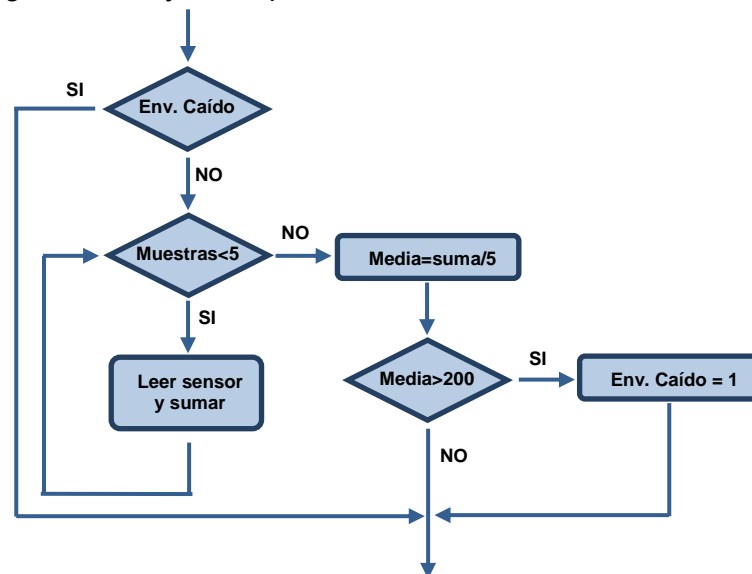


Figura 85. Diagrama de flujo de la función "comprobar".

Comienza comprobando que no haya detectado ya que el envase ha caído, así se ahorra tiempo no teniendo que hacer la adquisición de la señal del sensor.

En el caso de que no se haya detectado aun, se hace la media de 5 muestras y si el valor supera los 200, activamos el *flag* “EnvaseCaído”.

Una vez se haya acabado de hacer la media o no se tuviese que hacer porque ya se hubiese detectado la caída del envase se comprobaría que la puerta estuviese cerrada.

3.4.3. Envío de datos a la base de datos

En el programa principal se ha visto que en el caso de que el contenedor sea vaciado, este enviara esta información a la base de datos mediante la función “enviar datos”. Esta función podría explicarse con el siguiente diagrama de flujo.

Comienza montando la petición http que se enviará (<http://localhost/tutoiot/iot.php?valor=1>), se prepara el envío con los comandos AT (AT+CIPSEND), y se envía la información. Una vez recibido la respuesta del servidor o ha salido mal la conexión se finaliza la conexión.

Con los anteriores flujogramas se ha mostrado la lógica que seguirá el contenedor para hacer todo el control del contenedor.



Figura 86. Diagrama de flujo del envío de datos.

CAPÍTULO 4. Relación del proyecto con el medioambiente

El proyecto tiene una estrecha relación con la problemática mundial comentada en el Capítulo 1 del proyecto: la problemática de la huella ecológica y la contaminación.

La solución al problema concreto que se propone en este documento no solamente está enfocada a incrementar la comodidad de los usuarios que adquiriesen este producto, sino que tiene una visión genérica de como beneficiaria que la población dispusiese de un producto como este de forma masiva. La comodidad del usuario y la mejora de los datos de reciclaje van intrínsecamente ligadas, ya que, es uno de los principales motivos por los que la gente no recicla en sus hogares, como hemos podido apreciar en el estudio del capítulo 1.

Muchas veces se intenta resolver problemas a gran escala con soluciones a gran escala como nuevas normativas, nuevos acuerdos, etc. Pero, dónde realmente se encuentra la solución a los grandes problemas, como lo es éste, es en las pequeñas acciones y en la concienciación de la población sobre dicho problema, aunque las grandes soluciones también son importantes ya que sirven como guía y márgenes legales.

¿Pero, cómo ayudaría este proyecto a la mejora del sistema de reciclaje, y consiguientemente, a reducir el impacto medioambiental que provocan los residuos urbanos?

El principal problema del reciclaje de los envases, como se ha planteado más profundamente en el capítulo 1 de este proyecto, es la baja cantidad de toneladas de envases que se reciclan en relación con el volumen que ocupan. Los envases vacíos, si no son compactados, ocupan un espacio inútil el cuál podría ser ocupado por otro residuo.

Por lo tanto, la propuesta de este proyecto de diseñar un compactador de envases a nivel doméstico reduciría estos espacios inútiles en más de un 75%. Esto quiere decir que en una bolsa de basura donde antes se necesitaba una cierta cantidad de envases para llenarla, al compactarlos se necesitará un 75% más. Este hecho proporciona grandes ventajas. Una de ellas es que al poder llenar las bolsas con más envases es el ahorro de estas que supone, ya que se gastarán las bolsas a un ritmo mucho más bajo lo que repercute directamente en la economía del usuario. También los contenedores urbanos se llenarán a un ritmo menor, lo que permite que el camión de basura pueda optimizar mejor sus trayectos incluso reducirlos. Estas ventajas, entre otras, ayudan a una reducción considerable de la emisión de gases contaminantes a la atmósfera, así como la reducción de consumo de materias primas.

Soluciones como la propuesta en este proyecto ayuda a la optimización del proceso de reciclaje. La concienciación de la población va por buen camino, si además se consigue facilitar y hacer más cómodos los procesos esto hará aumentar la cantidad de gente y el nivel de reciclaje actual.

En los pequeños gestos y las acciones a pequeña escala se encuentra la solución a este problema. Impulsar proyectos, campañas y productos que de alguna forma incentiven a la población a ser más participes, y de mejor forma, en el proceso de reciclaje, poco a poco permitirá dar la vuelta a esta situación que por el momento no parece corregirse.

CAPÍTULO 5. Presupuesto

La realización del presupuesto de este proyecto está orientada a determinar el coste de fabricación de un primer prototipo funcional del producto. El proceso de fabricación no está terminado, ya que, como se ha comentado a lo largo del proyecto, para su finalización se requeriría la fabricación de un prototipo funcional, testeos de funcionamiento y de materiales, licencias, etc. Por ese motivo, el presupuesto que se expone a continuación se refiere a los costes de construcción del prototipo funcional.

Debido a que no se trata de un producto finalizado, en este presupuesto no se incluyen los costes de mano de obra que abarcaría desde los costes de ingeniería derivados del diseño y desarrollo del proyecto, así como los costes de mano de obra de fabricación del contenedor. La carcasa exterior no se tiene en cuenta para la realización de este presupuesto ya que no es necesario para la realización del prototipo. Tampoco se tienen en cuenta gastos tales como el pago de licencias para los softwares utilizados (NX-11, CYPE, CES Edupack, etc.).

Por último, en un presupuesto final, se deberían añadir los costes de materiales secundarios (documentación, encuadernación, etc.) así como el alquiler de las zonas de trabajo y almacenamiento.

Se han dividido los costes en cuatro grupos: componentes estructurales, componentes mecánicos, tornillería y componentes electrónicos.

Dentro de los componentes estructurales se incluyen todo aquel componente que forman tanto la estructura como el mecanismo de compactación, entre ellos, los pilares y montantes, las placas de la prensa o el eje de transmisión. En los componentes mecánicos se incluyen todos aquellos que participan en la generación del movimiento como los motores, engranajes, el husillo o los casquillos. En el grupo de los componentes electrónicos se han recogido todos los componentes utilizados para los testeos como los que se necesitarían en un futuro para el nuevo prototipo como podría ser el cableado, los LEDs, la placa Arduino o los sensores.

Todos los precios indicados en las 4 primeras tablas son precios sin I.V.A., el cual se añade en la suma total.

Concepto	Tipo	Ud.	Coste Unitario	Coste Total [€]
Componentes estructurales				
Tubo rectangular de acero galvanizado	FP56074 (30x25x2'5mm de 6m) Ferros Puig	1,0	22,92 €/Ud.	22,92
Tubo cuadrado de acero galvanizado	FP56048 (20x20x1'5mm de 6m) Ferros Puig	2,0	9,24 €/Ud.	18,48
Corte recto tubo de acero	FP101203 Ferros Puig	24,0	4,00 €/Ud.	96,00
Placa fija 1 de acero galvanizado	Rubio Julve, S.L.	1,0	38,00 €/Ud.	38,00
Placa fija 2 de acero galvanizado	Rubio Julve, S.L.	1,0	40,00 €/Ud.	40,00
Placa deslizante de acero galvanizado	Rubio Julve, S.L.	1,0	80,00 €/Ud.	80,00
Placa compuerta de acero galvanizado	Rubio Julve, S.L.	1,0	65,00 €/Ud.	65,00
Placa suelo de acero galvanizado	Rubio Julve, S.L.	1,0	15,00 €/Ud.	15,00
Pieza soporte motor	Rubio Julve, S.L.	1,0	10,00 €/Ud.	10,00
Pieza soporte motor compuerta	Rubio Julve, S.L.	1,0	13,00 €/Ud.	13,00
Pieza soporte pies niveladores	Rubio Julve, S.L.	4,0	10,00 €/Ud.	40,00
Eje	Rubio Julve, S.L.	1,0	57,50 €/Ud.	57,50
Pies niveladores	12648/10 de Talleres Egaña, S.L.	4,0	7,06 €/Ud.	28,24
Subtotal				524,14 €

Tabla 15. Presupuesto de los componentes estructurales

Concepto	Tipo	Ud.	Coste Unitario	Coste Total [€]
Componentes mecánicos				
Husillo de bolas	KGS-1210-023-RH-X-00350,20-R de Thompson	1,0	52,12 €/Ud.	52,12
Hembra husillo	KGF-D-1210-RH-00 de Thompson	1,0	39,07 €/Ud.	39,07
Guías cilíndricas	FHG-12-320-C-20 de Alsimet	6,0	6,01 €/Ud.	36,06
Rodamientos de casquillo autolubricantes	GSM-1214-15 de Igus	6,0	2,74 €/Ud.	16,44
Cojinetes de pedestal	KSTM-08 de Igus	2,0	4,10 €/Ud.	8,20
Chaveta motor grande	DIN 6885-A 2x2x20cm de Sija S.L.	1,0	0,40 €/Ud.	0,40
Chaveta motor pequeño	DIN 6885-A 2x2x10cm de Sija S.L.	1,0	0,51 €/Ud.	0,26
Chaveta eje-husillo	DIN 6885-A 3x3x15cm de Sija S.L.	1,0	0,26 €/Ud.	0,26
Chaveta eje-motor	DIN 6885-A 2x2x15cm de Sija S.L.	1,0	0,37 €/Ud.	0,37
Engranaje cremallera	FC-M1-300-2-8 de Abina	1,0	17,00 €/Ud.	17,00
Rueda dentada de 80 dientes	878-7893 de RS Pro	1,0	41,32 €/Ud.	41,32
Rueda dentada de 60 dientes	878-7890 de RS Pro	1,0	29,47 €/Ud.	29,47
Rueda dentada de 20 dientes	878-7865 de RS Pro	2,0	11,31 €/Ud.	22,62
Rueda dentada de 12 dientes	521-6193 de RS Pro	1,0	6,72 €/Ud.	6,72
Husillo de bolas	KGS-1210-023-RH-X-00350,20-R de Thompson	1,0	52,12 €/Ud.	52,12
Hembra husillo	KGF-D-1210-RH-00 de Thompson	1,0	39,07 €/Ud.	39,07
Motor eléctrico (accionamiento mecanismo)	MPM3-0004/CONT de Parvalux	1,0	143,54 €/Ud.	143,54
Motor eléctrico (compuerta de expulsión)	SS330012 de Súper Robótica	1,0	18,80 €/Ud.	18,80
Subtotal				524,09 €

Tabla 16. Presupuesto de los componentes mecánicos

Concepto	Tipo	Ud.	Coste Unitario	Coste Total [€]
Tornillería				
Tornillo M5x0'8 16 mm Allen	DIN 912 8.8 M5x16mm de Sija S.L.	3,0	0,036 €/Ud.	0,11
Tornillo M5x0'8 20 mm Allen	DIN 912 8.8 M5x20mm de Sija S.L.	13,0	0,037 €/Ud.	0,48
Tornillo M5x0'8 16 mm avellanado	DIN 7991 10.9 M5x16mm de Sija S.L.	10,0	0,036 €/Ud.	0,36
Tornillo M5x0'8 30 mm avellanado	DIN 7991 10.9 M5x30mm de Sija S.L.	2,0	0,042 €/Ud.	0,08
Tornillo M5x0'8 40 mm avellanado	DIN 7991 10.9 M5x40mm de Sija S.L.	4,0	0,054 €/Ud.	0,22
Tornillo M4x0'7 16 mm Allen	DIN 912 8.8 M4x16mm de Sija S.L.	4,0	0,039 €/Ud.	0,16
Tornillo M4x0'7 20 mm Allen	DIN 912 8.8 M4x20mm de Sija S.L.	4,0	0,039 €/Ud.	0,16
Tornillo M3x0'5 10 mm Allen	DIN 912 8.8 M3x10mm de Sija S.L.	3,0	0,046 €/Ud.	0,14
Tornillo M3x0'5 10 mm avellanado	DIN 7991 10.9 M3x10mm de Sija S.L.	1,0	0,038 €/Ud.	0,04
Tuerca M5	DIN 934 8.8 M5 de Sija S.L.	14,0	0,013 €/Ud.	0,18
Tuerca M4	DIN 934 8.8 M4 de Sija S.L.	8,0	0,012 €/Ud.	0,10
Arandela M4	DIN 125 8.8 M4 de Sija S.L.	4,0	0,001 €/Ud.	0,00
Seeger	DIN 471 e 3mm de Torras Suministros Industriales, S.L.	12,0	0,298 €/Ud.	3,58
Subtotal				5,61 €

Tabla 17. Presupuesto de la tornillería

Concepto	Tipo	Ud.	Coste Unitario	Coste Total [€]
Componentes electrónicos				
Placa Arduino	Arduino UNO REV3	1,0	20,00 €/Ud.	20,00
Módulo ultrasónico	HC-SR04 de Itead	1,0	1,68 €/Ud.	1,68
Medidor de distancia por infrarrojos	GP2Y0A21YK0F de Sharp	1,0	9,17 €/Ud.	9,17
LED amarillo	L-53YD de Kingbright (Pack 5 Ud.)	5,0	0,20 €/Ud.	1,00
LED rojo	L-53HD de Kingbright (Pack 5 Ud.)	5,0	0,23 €/Ud.	1,15
LED blanco	L-53WD de Kingbright (Pack 5 Ud.)	5,0	0,20 €/Ud.	1,00
Puente en H	IBT-2	1,0	9,09 €/Ud.	9,09
Interruptor Reed	KSK-1A66-2030 de Standex Meder	1,0	1'34 €/Ud.	1,34
Disco magnético	N804RS de Eclipse (Pack 10 Ud.)	1,0	0,76 €/Ud.	7,60
Interruptor de final de carrera	D3C-1210 de Omron	3,0	2,04 €/Ud.	6,12
Resistencia fija	740-0823 (330Ω, ±5%, 2W) de RS Pro (Pack de 10 Ud.)	3,0	0,02 €/Ud.	0,20
Detector de agua / humedad	Water Sensor de Prometec	1,0	2,60 €/Ud.	2,60
Diodos	DSI45-12A de IXYS	4,0	2,94 €/Ud.	11,76
Condensador electrolítico de aluminio	MAL202118222E3 de Vishay	1,0	5,59 €/Ud.	5,59
Transformador de tensión 160VA, 400/230-12	JBK5-160-400/230- de Chint	1,0	31,83 €/Ud.	31,83
Convertidor dc-dc aislado 5V (15W)	SD-15B-5 de Mean Well	1,0	22,56 €/Ud.	22,56
Transistor NPN 25V	BC108B de CDIL	1,0	0,55 €/Ud.	0,55
Relé 24V DC	40.61.9.024. de Finder	1,0	2,29 €/Ud.	2,29
Fusible térmico	SF240E de ATC Semitec (Pack de 5 Ud.)	2,0	0,94 €/Ud.	4,68
Cableado IDC	EJ0VL9ZL2851200D314KZ de Ueetek (5m)	1,0	3,94 €/Ud.	3,94
Cables macho jumper Dupont	a13040500ux0203 de Sodial (Pack 40 Ud.)	1,0	2,09 €/Ud.	2,09
Teclas para el panel de control	Botonera CH35 de Vestel	1,0	6,50 €/Ud.	6,50
Subtotal				152,74 €

Tabla 18. Presupuesto de los componentes electrónicos

Concepto	Coste Total [€]
Componentes estructurales	524,14
Componentes mecánicos	524,09
Tornillería	5,61
Componentes electrónicos	152,74
Subtotal sin I.V.A.	1206,58 €
% IVA	21,00 %
Importe IVA	253,38 €
PRECIO TOTAL	1459,96 €

Tabla 19. Presupuesto total

Una vez determinado el coste de fabricación de este prototipo, se justifica la no fabricación del mismo. Debido a que no se trata de un proyecto con financiación, estos casi 1.500,00 salen por completo del posible presupuesto a gastar en el proyecto.

El coste obtenido es más elevado de lo que se había previsto, ya que a este precio de fabricación habría que añadir los costes de mano de obra, entre otros. Por lo tanto, sería un producto de un precio parecido o más elevado a los productos ya existentes. Un rediseño del producto con algún cambio de componentes podría hacer rebajar este coste.

CAPÍTULO 6. Conclusiones

Con la finalización del proyecto se puede determinar que el producto diseñado en el mismo sería, en caso de fabricarse, una solución útil para facilitar y potenciar el reciclaje en los hogares. Además, se trata de un producto del que no solo se beneficia su propietario. El reducir el volumen de los envases consecuentemente aumenta la capacidad de los cubos de basura. La ampliación de capacidad de los cubos provoca que los usuarios reduzcan las veces que van a tirar la basura, que a su vez reduce la cantidad de bolsas de basura utilizadas. Incluso el contenedor diseñado participaría en la reducción de las emisiones de gases a la atmósfera ya que los contenedores urbanos tendrían un llenado más lento y se podrían optimizar los trayectos de los camiones de basura.

Tal y como indica el título del proyecto, el objetivo principal era el de diseñar un producto, no fabricarlo. Para su fabricación se requeriría más tiempo, financiación y ensayos tanto de falla de materiales como de funcionamiento del mecanismo que no se pueden llevar a cabo si no se fabrica un prototipo funcional del producto.

Respecto a las hipótesis de diseño iniciales se han variado varios detalles. Estos cambios han surgido derivados de problemas que han aparecido durante el diseño.

Con el producto final obtenido se ha llegado a la conclusión que, debido a que se le puso como condición el compactar garrafas de 5L, las dimensiones del contenedor son bastante elevadas como para tratarse de un aparato doméstico. Un contenedor más pequeño y transportable le haría más atractivo para su compra, aunque no se pudiesen compactar garrafas muy grandes. Por lo tanto, se concluye en el proyecto que para una mejor usabilidad doméstica lo ideal sería poder reducir las medidas del contenedor.

Considerando los problemas comentados, así como el diseño final del producto, se puede determinar que el producto, tras pasar las pruebas y verificaciones anteriormente comentadas, podría comercializarse y ser un producto útil para la contribución a la mejora del reciclaje en el ámbito doméstico.

El proyecto partió como el diseño de un contenedor compactador doméstico con la idea de que fuese un contenedor para instalar en hogares y el proyecto se ha desarrollado siguiendo esa línea. Pero durante el proceso de diseño y observando el resultado final, se cree que el producto tendría una utilidad muy grande en otros espacios como, por ejemplo, restaurantes y bares. En estos espacios se consume una cantidad de envases mayor que en un hogar y por lo tanto el problema de la acumulación es mayor. Reducir espacio, bolsas de basura y mejorar la comodidad, además de potenciar el reciclaje en estos locales, serían los beneficios que aportaría el contenedor.

Otro lugar donde el contenedor tendría mucha utilidad es en lugares donde se realizasen eventos masivos como en un estadio deportivo o en una sala de conciertos donde se consumen grandes cantidades de vasos de plástico, botellas y latas. Las grandes acumulaciones de residuos siempre son un problema, y cuando se trata de espacios donde acuden miles de personas el problema se acrecienta.

Por lo tanto, aunque el contenedor siempre ha tenido como primera opción ser un producto para instalar en viviendas privadas, y para ello se ha diseñado, se le han encontrado otras salidas que le aportan más posibilidades de futuro al proyecto.

6.1. Líneas futuras de trabajo

Durante el proyecto se ha encontrado varias futuras líneas de trabajo o de mejora las cuales llevarse a cabo.

Como mejora de diseño futura, como se ha comentado anteriormente, sería la reducción de tamaño del contenedor. El hecho de que tenga la capacidad de compactar envases de hasta 5 litros le aporta un valor añadido, pero, por otro lado, provoca que las dimensiones del contenedor sean demasiado grandes. Reducir las medidas sería una buena línea de trabajo futuro ya que seguramente el diseño pueda optimizarse mucho todavía. Otro aspecto del diseño que se podría retocar posterior a un reestudio de la máquina sería la dirección del compactado, es decir, rehacerlo a vertical en vez de horizontal como ahora. Desde un principio se prefirió realizar el compactado de forma horizontal, aun así, es posible que un diseño de compactado vertical aporte alguna ventaja.

Como se ha avanzado en el anterior apartado de las conclusiones del proyecto, durante el desarrollo del proyecto se le han encontrado utilidades al producto que no habían sido planteadas en un comienzo. Pero para poder ser utilizado en estos otros lugares (restaurantes, bares, estadios, etc.) el contenedor debería recibir un rediseño, ya que, aunque la función principal sea la misma que para el ambiente doméstico, los requisitos del producto variarán según para donde vaya a ser instalado. Por otro lado, aprovechando una campaña impulsada en varios centros por la UPC, uno de ellos la EPSEVG (UPC, 2016), para fomentar el buen reciclaje en la universidad, se observó que en los contenedores repartidos por todo el campus se arrojan diariamente muchos envases los cuales con un contenedor como este facilitaría a la universidad la mejora del reciclaje.

Otra mejora futura que se propone es la de desarrollar el *Internet of things* en el contenedor, el envío de una gran cantidad de datos. Por ejemplo, sería interesante guardar el número de veces que compacta el contenedor para realizar estadísticas. También sería útil implementar un sistema de detección del material a compactar para realizar la fuerza de compactado necesaria solamente para ese tipo de envase. Además, analizando los productos que se compactan pueden desarrollarse útiles recogidas de datos. Para tener acceso a estas funciones sería necesario instalarle WiFi al contenedor y configurar las conexiones posibles del mismo.

Observando el presupuesto del Capítulo 5, se determina que el coste es bastante elevado. Por eso mismo, se ha creído interesante proponer un rediseño del producto para conseguir abaratar costes sin perder funcionalidades que permita que el contenedor sea un producto más atractivo y viable para ser vendido en un futuro.

AGRADECIMIENTOS

David Aroco Fauria:

Agradezco a mi familia:

“Su apoyo, tanto económico como emocional, durante todos estos años de carrera y, sobre todo, durante la realización de este proyecto”.

A Alejandro, Marta y Berta.

Agradezco a mi pareja:

“La paciencia por el incontable tiempo que le he robado realizando este proyecto, así como su apoyo emocional en todo momento”.

A Carla.

Agradezco al profesorado de la EPSEVG y a mi tutor:

“Su ayuda siempre que la he solicitado, así como los conocimientos y formación”.

Al profesorado de la EPSEVG y a Balduí.

Xavier Abassó Van Den Berg:

Agradezco a mi madre:

“Por haberme apoyado durante toda mi vida académica”.

A Milda.

Agradezco al profesorado:

“El asesoramiento durante todo el proyecto”.

A Cristóbal Raya y Balduí Blanqué.

Marc Olivella Insensé:

Agradezco a mis padres:

“Por haberme dado la oportunidad de estudiar una carrera universitaria y apoyarme durante todos estos años”.

A Albert y Montserrat.

Agradezco a mi novia:

“Por haber tenido tanta paciencia conmigo cuando estaba nervioso por este proyecto, así como por no hacerle mucho caso las últimas semanas”.

A Marina.

Agradezco a mi amigo:

“Por habernos suministrado las maderas para el prototipo”.

A Laureà.

Agradezco a mis profesores:

“Por asesorarme y ayudarme cuando les he pedido consejo y ayuda”.

A Balduí y Joan Solé.

BIBLIOGRAFIA

Libros

- CAREAGA, JUAN A. *Manejo y reciclaje de los residuos de envases y embalajes*. México: Instituto Nacional de Ecología, 1993. ISBN: 968-838-230-2
- MOTT, ROBERT L. *Diseño de elementos de máquinas*. 4ª edición. Naucalpan de Juárez, México: Prentice Hall Iberoamericana, 2006. ISBN: 970-26-0812-0
- RIBA I ROMEVA, CARLES. *Selección de materiales en el diseño de máquinas*. Barcelona: Edicions UPC, 2008. ISBN: 978-84-9880-406-5
- MOTT, ROBERT L. *Resistencia de materiales*. México: Pearson Educación, 2009. ISBN: 978-607-442-047-0
- NORTON, ROBERT L. *Diseño de máquinas*. 4ª edición. México: Prentice Hall Hispanoamericana, 1999. ISBN: 970-170-257-3
- HALL, ALLEN S. *Diseño de máquinas*. México: McGraw-Hill, 1971. ISBN: 968-451-077-2
- JUVINALL, ROBERT C.; MARSHEK, KURT S. *Diseño de elementos de máquinas*. 2ª edición. México: Limusa Wiley, 2013. ISBN: 978-607-05-0436-5
- BUDYNAS, RICHARD G.; NISBETT, KEITH J. *Diseño en ingeniería mecánica de Shigley*. 8ª edición. México: McGraw-Hill, 2008. ISBN: 970-10-6404-7
- AVALLONE, EUGENE A.; BAUMEISTER III, THEODORE. *Manual del ingeniero mecánico*. 9ª edición. México DF: McGraw-Hill, 1995. ISBN: 970-10-0692-5
- FAIRES, V. M. *Diseño de elementos de máquinas*. 4ª edición. México: Editorial Limusa, 1995. ISBN: 978-968-184-207-9
- GORDON, JAMES E. *Estructuras o por qué las cosas no se caen*. 2ª edición. Madrid: Calamar Ediciones, 2004. ISBN: 84-96235-06-8
- TORRENTE, ÓSCAR. *Arduino. Curso práctico de formación*. México: Alfaomega Grupo Editor, 2013. ISBN: 978-84-940725-0-5
- RASHID, MUHAMMAD H. *Electrónica de potencia*. 3ª edición. México DF: Pearson Education, 2004. ISBN: 970-26-0532-6

Memorias

- TORRES, MARIELA; PAZ, KARIM. *Tamaño de una muestra para una investigación de mercado*. Guatemala: Universidad Rafael Landívar, Facultad de ingeniería.
- APOLINARIO, JOSÉ A. *Diseño de una prensa hidráulica de 100 toneladas para el conformado de laminas de fibrocemento de 1'2 x 0'5 m*. Tesis para optar al título de Ingeniero Mecánico. Lima: Pontificia Universidad Católica de Perú, Facultad de ciencias e ingeniería.
- BALTUANO, EDWIN A. *Diseño de una máquina compactadora de latas de bebidas de aluminio*. Lima: Pontificia Universidad Católica de Perú, Facultad de ciencias e ingeniería.
- GONZÁLEZ, HECTOR. *Diseño mecánico de una máquina expendedora de toallas*. Barcelona: Universidad Politécnica de Catalunya, Escola d'Enginyeria de Barcelona Est.

Archivos electrónicos

- Ecoembes (2018). *Presentación resultados 2017*. [Archivo PDF]. Recuperado de: <https://www.ecoembes.com/sites/default/files/reciclaje-en-datos-2017.pdf>
- Gerdau Corsa (2015). *Elección del mejor tipo de acero para estructuras*. [Archivo PDF]. Recuperado de: <https://www.gerdau.com/gerdaucorsa/es/productsservices/products/Document%20Gallery/eleccion-tipo-de-acero.pdf>
- SKF (2013). *Husillos de bola laminados de precisión*. [Archivo PDF]. Recuperado de: http://www.skf.com/binary/96-149715/Precision-rolled-ball-screws---6971_1-ES.pdf
- THK. *Ejemplos de selección de husillos de bolas*. [Archivo PDF]. Recuperado de: https://tech.thk.com/es/products/pdf/es_b15_069.pdf
- Gobierno España (2003). *Ley 37/2003, del Ruido. Anexo 1: Valores límite de inmisión acústica*. [Archivo PDF]. Recuperado de: <http://sicaweb.cedex.es/docs/comunicaciones/2006-03-01/hoja5.pdf>
- De Almeida, Aníbal. 12. *Transmisiones mecánicas*. [Archivo PDF]. Recuperado de: <https://www.energia.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2015/12/12.-Transmisiones-meca%CC%81nicas.pdf>
- Laboratorio de Ingeniería Mecánica de La Coruña (2012). *Tablas de perfiles de acero*. [Archivo PDF]. Recuperado de: http://lim.ii.udc.es/docencia/din-sismec/perfiles_ea_95.pdf
- De Almeida, Aníbal. 9. *Selección de motores*. [Archivo PDF]. Recuperado de: <https://www.energia.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2015/12/i-Seleccio%CC%81n-de-motores.pdf>
- Bañón, Luis. Universidad de Alicante (2009). *Prontuario básico de estructuras simples*. [Archivo PDF]. Recuperado de: <https://rua.ua.es/dspace/bitstream/10045/25612/1/Estructuras%20Met%C3%A1licas%20-%20Material%20apoyo.pdf>

- Abasolo, Mikel, Corral, Javier y Iriondo, Edurne. *Diseño de máquinas*. [Archivo PDF]. Recuperado de: <https://ocw.ehu.eus/course/view.php?id=441>
- Guardiola Villora, Arianna Paola. *Criterios para el dimensionado de las uniones soldadas en estructuras de acero en edificación*. [Archivo PDF]. Recuperado de: <https://riunet.upv.es/handle/10251/7816>

Páginas web

- Krüsher North America. 2018. "Krüsher 21-inch recycling trash compactor". En: Krüsher North America. [en línea] [13/10/2018] <http://www.krushr.com/21-inch-recycling-trash-compactor/>
- Joseph Joseph, 2018. "Titan 30 Trash Compactor" En: Joseph Joseph. [en línea] [13/10/2018] <https://www.josephjoseph.com/en-eu/titan-trash-compactor>
- Reduver, 2018. "Reduver". En: Reduver. [en línea] [13/10/2018] <http://reduver.com>
- Solar Bins Australia, 2018 "Big Belly Solar Compactor". En: Solar Bins Australia [en línea] [13/10/2018] <https://www.solarbins.com.au/features/big-belly-solar-bin/>
- E Cube Labs, 2018. "CleanCube". En: E Cube Labs. [en línea] [13/10/2018] <https://www.ecubelabs.com/solar-powered-trash-compactor/>
- Jovisa
- *Prensas de botes y metales*. Jovisa. <http://jovisa.eu/prensa-de-botes-y-metales/#> [13/10/2018]
- *Prensa de gran tamaño H501*. Miltek. <https://www.miltek.es/product/prensa-de-gran-tamano-h501> [13/10/2018]
- *Tamaño de la muestra de una encuesta*. Survey Monkey. <https://es.surveymonkey.com/mp/sample-size/> [13/10/2018]
- *Tamaño de la muestra*. Wikipedia: la enciclopedia libre. https://es.wikipedia.org/wiki/Tama%C3%B1o_de_la_muestra [13/10/2018]
- *Calculadora del tamaño de muestra*. Survey Monkey. <https://es.surveymonkey.com/mp/sample-size-calculator/> [13/10/2018]
- *Población en Cataluña por sexo y edad*. Institut d'estadística de Catalunya (IDESCAT). <https://www.idescat.cat/pub/?id=aec&n=253&lang=es> [13/10/2018]
- *Proceso de recogida, selección y reciclaje*. Ecoembes. <https://www.ecoembes.com/es/ciudadanos/envases-y-proceso-reciclaje/proceso-recogida-seleccion-reciclaje> [13/10/2018]

- *Problemática de los residuos urbanos.* UNED.
<https://www2.uned.es/biblioteca/rsu/pagina1.htm>
- *Tablas de perfiles de acero.* Scribd. <https://es.scribd.com/doc/2607487/TABLAS-DE-PERFILES> [13/10/2018]
- *Productos CNC: Husillos de bolas y guías lineales.* Productos CNC.
http://www.productoscnc.es/hyperpages/husillo_de_bolas_ejes_precision.htm
[13/10/2018]
- *Catálogos de husillos de bolas.* Tecno Power. <http://www.tecnopower.es/husillo-de-bolas-laminado> [13/10/2018]
- *Catálogos de husillos de bolas.* Thompson.
https://www.thomsonlinear.com/website/esm/esm/products/ball_screws_and_lead_screws/ball_screws_products.php [13/10/2018]
- *Equivalencias entre normas de nomenclatura de los aceros.* URSSA.
<http://www.acerosurssa.es/es/content/14-equivalencias-aproximadas-entre-normas>
[13/10/2018]
- *Laminado en frío y en caliente: ventajas y desventajas.* PLANES.
<https://ferrosplanes.com/laminado-en-frio-en-caliente-ventajas/> [13/10/2018]
- *Consulta de precios de acero.* Ferros Puig.
<http://www.ferrospuig.com/index.php/es/consulta> [13/10/2018]
- *Características mecánicas del acero.* Inge Mecánica.
<https://ingemecanica.com/tutorialsemanal/tutorialn100.html> [13/10/2018]
- *Perfiles normalizados de aluminio.* Alu-Stock. <http://www.alu-stock.es/es/aluminio-industria/perfiles-normalizados> [13/10/2018]
- *Propiedades mecánico-químicas del aluminio.* Inge mecánica.
<https://ingemecanica.com/tutorialsemanal/tutorialn110.html> [13/10/2018]
- *Motor eléctrico: ¿Cómo elegir el más adecuado según las necesidades?* Tercesa.
<https://tercesa.com/noticias/motor-electrico-como-elegir-el-adecuado/> [13/10/2018]
- *Arduino.* ESAIL, EPSEVG. <http://147.83.158.184/esaiiki/index.php/Arduino> [13/10/2018]
- *Tutoriales de Arduino.* PromeTec. <https://www.prometec.net/indice-tutoriales/> [13/10/2018]
- *Conexiones Arduino.* Blog Luis Llamas. <https://www.luisllamas.es/> [13/10/2018]
- *Seed Wiki.* Seed Studio. <http://wiki.seeedstudio.com/> [13/10/2018]
- *Subir datos de una base de datos.* GeekTheory. <https://geekytheory.com/internet-de-las-cosas-parte-2-subir-los-datos-a-una-base-de-datos/> [13/10/2018]
- *Creación de una base de datos.* GeekTheory. <https://geekytheory.com/java-php-mysql-ii-creacion-de-una-base-de-datos-en-mysql/> [13/10/2018]
- *Arduino y ESP8266 como cliente web.* Naylamp.

https://naylampmechatronics.com/blog/54_arduino-y-esp8266-como-cliente-web.html
[13/10/2018]

- *Save data to data base. iCreate Project.*
<http://www.icreateproject.info/uncategorized/arduino-save-data-to-database/>
[13/10/2018]
- *Wireless Communication with ESP8266. Dan Chen.*
<http://fab.cba.mit.edu/classes/865.15/people/dan.chen/esp8266/> [13/10/2018]
- *Cojinetes de fricción iglidur libres de mantenimiento. IGUS.*
<https://www.igus.es/iglidur/plain-bearing> [13/10/2018]
- *Selección cojinetes. IGUS.* <https://www.igus.es/iglidur/plain-bearing> [13/10/2018]
- *Calculador de vida útil de iglidur. IGUS.* <https://www.igus.es/info/plain-bearings-iglidur-experts> [13/10/2018]

Software

- Siemens PLM Software (2017). *NX 11*.
- CYPE Ingenieros, S.A. (2016). *CYPE 3D*.
- Granta Design (2018). *CES Edupack 2018*.
- Bourdon, Romain (2016). *Wampserver*.
- Arduino (2017). *Arduino*.

Referencias

- Abasolo, Mikel, Corral, Javier y Iriondo, Edurne. 2017.** Enseñanzas técnicas: Diseño de máquinas. *Universidad del País Vasco*. [En línea] 2017. <https://ocw.ehu.eus>. 2255-2316.
- Abina, S.L. 2018.** Engranages Abina. [En línea] 2018. <http://www.abina.com>.
- Apolinario, Joel A. 2015.** *Diseño de una prensa hidráulica de 100 toneladas para el conformado de laminas de fibrocemento de 1,2 x 0,5 m*. Lima : Pontificia Universidad Católica de Perú, 2015.
- Aroco Fauria, David. 2018.** Encuesta sobre el reciclaje doméstico. *Formularios Google*. [En línea] Marzo de 2018. <https://docs.google.com/forms/d/1UmJ1G3bIP497Cg4BRa4tGSgXwaOPMvk4x1IXQQVyg/edit>.
- Asturalba Iberia, S.L. 2018.** Máquinas para reciclar botellas y envases de plástico. *Asturalba*. [En línea] 2018. <http://www.asturalba.com/>.
- Avallone, Eugene A. y Baumberg III, Theodore. 1995.** Materiales de fricción seleccionados y sus propiedades. *Manual del ingeniero mecánico*. México DF : McGraw-Hill, 1995.
- Baltuano Parra, Edwin Antonio. 2013.** Diseño de una máquina compactadora de latas de bebidas de aluminio . Lima : Pontificia Universidad Católica del Perú , 2013, págs. 7-10.
- Bañón, Luis. 2009.** *Prontuario básico de estructuras simples*. Alicante : Universidad de Alicante , 2009.
- Blanqué Molina, Balduí. 2017.** Metodologies àgils de treball en equip. s.l. : Agile UPC Vilanova, 2017.
- Blodgett, Omer W. 1967.** *Design of welded structures*. Cleveland : James F Lincoln Arc

Welding Foundation, 1967. 00263982.

Borràs, Carla. 2018. ¿Cuánto se recicla en el mundo? *Ecología Verde*. [En línea] 15 de Febrero de 2018. <https://www.ecologiaverde.com>.

Bourdon, Romain. 2018. *WampServer*. s.l. : Alter Way, 2018.

Budynas, Richard G. y Nisbett, Keith J. 2008. Capítulo 16.7. Embragues y frenos cónicos. *Diseño en ingeniería mecánica*. México DF : McGraw-Hill, 2008.

Careaga, Juan A. 1993. *Manejo y reciclaje de los residuos de envases y embalajes*. México DF : SEDESOL, 1993. ISBN: 968-838-230-2.

Chiminello, María Clara, y otros. 2010. *La consolidación del programa SEPARE como paso inicial para alcanzar una gestión ambientalmente sustentable, sanitariamente responsable y socialmente inclusiva de los residuos urbanos de la ciudad de Rosario*. Rosario : Universidad Nacional de Rosario, 2010.

Consejo de la Unión Europea. 2018. Gestión y reciclado de residuos: el Consejo adopta nuevas normas. *Consejo de la Unión Europea Web site*. [En línea] 22 de Mayo de 2018. <http://www.consilium.europa.eu>.

Curiosoando. 2014. ¿Qué es el acero galvanizado? *Curiosoando*. [En línea] 2 de Septiembre de 2014. <https://curiosoando.com>.

Dinngo. 2018. Design Thinking en español. *Design Thinking*. [En línea] 2018. <https://designthinking.es>.

Ecoembes. 2017. El papel de los envases en nuestra sociedad. *Ecoembes Web site*. [En línea] 2017. <https://www.ecoembes.com>.

—. 2018. *Presentación de resultados de 2017*. Madrid : Ecoembes, 2018.

ECube Labs. 2018. CleanCUBE, the solar-powered trash compactor. *ECube Labs*. [En línea] 2018. <https://www.ecubelabs.com>.

EFE, Agencia. 2016. España genera casi 120 millones de toneladas anuales de residuos. *Agencia EFE*. [En línea] 6 de Junio de 2016. <https://www.efe.com>.

ESAI . 2018. Arduino. *Departament d'Enginyeria de Sistemes, Automàtica i Informàtica Industrial*. [En línea] 15 de Septiembre de 2018. <http://147.83.158.184/>.

Ferrete, D. G. 2018. Finales de carrera para tu CNC. Sr. Ferrete. *Tutoriales, unboxing, diy, arduino y mucho más...* [En línea] 23 de Marzo de 2018. <http://srferrete.es/finales-de-carrera-para-tu-cnc-basado-en-grbl>.

Gordon, James E. 2004. *Estructuras o por qué las cosas no se caen*. Madrid : Calamar Ediciones, 2004. ISBN: 84-96235-06-8.

Guardiola Villora, Arianna Paola. 2010. *Criterios para el dimensionado de las uniones soldadas en estructuras de acero en edificación*. Valencia : Universitat Politècnica de Valencia , 2010.

Igus. 2018. Cojinetes de fricción iglidur libres de mantenimiento. *Igus plastics for longer life*. [En línea] 2018. <https://www.igus.es>.

Institut d'Estadística de Catalunya (IDESCAT). 2018. Anuari estadístic de Catalunya. *Web de l'estadística oficial de Catalunya*. [En línea] 3 de Mayo de 2018. <https://www.idescat.cat>.

Jiankai, Li. 2015. *Grove - Gas Sensor (MQ-2)*. s.l. : Seed Studios, 2015.

Joseph Joseph. 2018. Titan 30 Trash Compactor. *Joseph Joseph*. [En línea] 2018. <https://www.josephjoseph.com>.

Jovisa, S.L. 2018. Prensa de Botes y Metales. *Jovisa*. [En línea] 2018. <http://www.jovisa.eu>.

Juvinall, Robert C. y Marshek, Kurt M. 2013. *Diseño de elementos de máquinas*. México DF : Limusa, 2013.

Kim. 2014. MQ-2 Smoke/LPG/CO Gas Sensor Module. *Sandbox Electronics*. [En línea] 3 de Febrero de 2014. <https://sandboxelectronics.com/?s=MQ-2>.

Krühr North America. 2018. 21 inch Recycling Trash Compactor. *Krühr*. [En línea] 2018. <http://www.krushr.com>.

Llamas, Luis. 2017. Conectar Arduino por WiFi con el módulo ESP8266 ESP01. *Luis Llamas. Ingeniería, electrónica y diseño*. [En línea] 27 de Mayo de 2017. <https://www.luisllamas.es/arduino-wifi-esp8266-esp01/>.

—. 2014. Leer un pulsador con Arduino. *Luis Llamas. Ingeniería, electrónica y diseño*. [En línea] 2 de Septiembre de 2014. <https://www.luisllamas.es/leer-un-pulsador-con-arduino/>.

- . **2015**. Medir distancia con Arduino y sensor de ultrasonidos HC-SR04. *Luis Llamas. Ingeniería, informática y diseño*. [En línea] 5 de Junio de 2015. <https://www.luisllamas.es/medir-distancia-con-arduino-y-sensor-de-ultrasonidos-hc-sr04/>.
- . **2015**. Usar un interruptor magnético con Arduino (Magnétic Reed). *Luis Llamas. Ingeniería, electrónica y diseño*. [En línea] 4 de Noviembre de 2015. <https://www.luisllamas.es/usar-un-interruptor-magnetico-con-arduino-magnetic-reed/>.
- Michell, Natalia. 2007**. El reciclaje en el mundo de hoy. *El Observador económico*. [En línea] 27 de Septiembre de 2007. <http://www.elobservadoreconomico.com>.
- Mil-tek. 2018**. Prensa de Gran Tamaño H501. *Mil-Tek*. [En línea] 2018. <https://www.miltek.es>.
- Mott, Robert L. 2006**. *Diseño de elementos de máquinas*. México DF : Prentice Hall Mexico, 2006. ISBN: 9789702608127.
- Parvalux. 2018**. PMDC Motor Only. *Parvalux*. [En línea] 2018. <https://www.parvalux.com/products/pmdc-products/pmdc-motor-only>.
- Paz, Karim S y Torres, Marianela. 2006**. *Tamaño de una muestra para una investigación de mercado*. Guatemala : Universidad Rafael Landívar, 2006.
- Prometec. 2018**. Como funciona un sensor de ultrasónico de distancia. *Prometec*. [En línea] 2018. <https://www.prometec.net/sensor-distancia/>.
- . **2018**. Sensor de agua. *Prometec*. [En línea] 2018. <https://www.prometec.net/producto/sensor-de-agua/>.
- Reduver. 2014**. Reduver: Reductor de envases reciclables. [En línea] 2014. <http://reduver.com/>.
- Riba Romeva, Carles. 2008**. *Selección de materiales en el diseño de máquinas*. Barcelona : Edicions UPC, 2008.
- Sharp. 2018**. Electronic Components - Display Devices. *Sharp World*. [En línea] Marzo de 2018. <http://www.sharp-world.com>.
- Solar Bins Australia. 2018**. BigBelly Solar Compactors. *Solar Bins Australia*. [En línea] 2018. <https://www.solarbins.com.au>.
- Soria Perez, Jose Antonio. 2016**. *Apunts SIEK Tema 3. Fonts d'alimentació*. Vilanova i la Geltrú : EPSEVG, 2016.
- Super Robótica. 2018**. Motores y servos. *Super Robótica*. [En línea] 2018. <http://www.superrobotica.com>.
- SurveyMonkey. 2018**. Calculadora del tamaño de muestra. *SurveyMonkey*. [En línea] 2018. <https://es.surveymonkey.com>.
- Talleres Egaña, S.L. 2018**. Catálogo pies de máquina niveladores - Pies de poliamida. *Talleres Egaña, S.L.* [En línea] 2018. <https://www.eganasl.com>.
- Tecnopower. 2018**. Husillos de bolas. *Tecnopower. Transmisión y movimiento lineal*. [En línea] 11 de Febrero de 2018. <https://www.tecnopower.es/>.
- Tendencias 21. 2018**. *Tendencias Científicas*. [En línea] 8 de Mayo de 2018. <https://www.tendencias21.net>.
- Thompson Linear Motion. 2018**. Husillos de Bolas. *Thompson Linear Motion*. [En línea] 2018. <https://www.thomsonlinear.com>.
- Torres, Hector. 2014**. Sensor de gas MQ-2 con Arduino UNO. *HETPRO*. [En línea] 6 de Agosto de 2014. <https://hetpro-store.com/TUTORIALES/sensor-de-gas-mq2/>.
- UPC. 2016**. Servei de neteja i recollida de residus a la UPC. *Recursos patrimonials i de contractació*. [En línea] 1 de juliol de 2016. <https://www.upc.edu>.
- Utilcell Modelo 620. 2018**. Modelo 620. *Utilcell*. [En línea] 2018. <https://www.utilcell.es>.
- Villacriz, Rutber. 2009**. Capítulo 10: Rectificador de media onda con filtro por condensador. *Electrónica básica. Diodo y filtro por condensador*. [En línea] MailxMail, 3 de Septiembre de 2009. <http://www.mailxmail.com/curso-electronica-basica-2-3-diodo-filtro-condensador/rectificador-media-onda-filtro-condensador-2>.
- Wikipedia. 2018**. Husillo de bolas. *Wikipedia: La enciclopedia libre*. [En línea] Marzo de 2018. https://es.wikipedia.org/wiki/Husillo_de_bolas.
- . **2017**. Tamaño de la muestra. *Wikipedia*. [En línea] 5 de Diciembre de 2017. <https://es.wikipedia.org>.

